MINISTRY OF EDUCATION AND TECHNICAL EDUCATION
وزارة التربية والتعليم والتعليم الفني
الكيمياء
البكالوريا المصرية
الصف الثاني الثانوي
الجزء الأول
11
SPRIX

الكيمياء

البكالوريا المصرية

الصـــف الثـــاني

Advised by
INTERNATIONAL BACCALAUREATE®

The International Baccalaureate™

has reviewed the pedagogical and assessment approaches underpinning this textbook.

© 2026 Ministry of Education and Technical Education

All rights reserved.

Copyrights and accountability for the content of this textbook remain with the Ministry of Education and Technical Education.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system,

or transmitted in any form or by any means - electronic, mechanical, photocopying, recording,

or otherwise - without the prior written permission of the copyright holders.

Ministry of Education and Technical Education

New Administrative Capital

Cairo, Egypt

مقدمة

تجسيدًا الرؤية نظام البكالوريا المصرية والتزامها بإعداد متعلمين قادرين على مواكبة متطلبات القرن الحادي والعشرين، يأتي تطوير كتاب الكيمياء للصف الثاني الثانوي ليقدم للطلاب تجربةً تعليمية رصينة، ممتعة، ومحفزة فكريًا. وقد صُمم هذا المنهج لترسيخ الفهم المفاهيمي العميق، وبناء الثقافة العلمية، مع تمكين المتعلمين من تطبيق المعارف والمهارات الكيميائية في سياقات الحياة الواقعية.

تقوم فلسفة هذا الكتاب على التعلم القائم على الاستقصاء؛ حيث يبني الطلاب فهمهم ذاتيًا عبر الملاحظة، والتساؤل، والبحث، والتفكير المستند إلى الأدلة. وينطلق التعلم من ظواهر حيوية، ومواقف حقيقية، وخبرات استكشافية تستثير الفضول، وتدفع المتعلمين إلى البحث عن تفسيرات علمية للعمليات والتفاعلات الكيميائية في محيطهم. وعبر هذا النهج، يُوجَّه الطلاب لاستكشاف الأنماط، وصياغة التفسيرات، وبناء الاستيعاب العلمي قبل الخوض في المفاهيم والمبادئ والقوانين والنماذج الرسمية.

يعكس تنظيم كل درس تسلسلًا متناغمًا ينطلق من الاستكشاف وصولًا إلى بناء المفهوم وتطبيقه؛ متبعًا في ذلك استراتيجية (**تعلم- مثال- الشرح-حاول بنفسك-تدرب**). حيث يُقدَّم للطلاب أولاً سياقات وظواهر ونماذج مختارة بعناية؛ لربط التعلم الجديد بالمعارف السابقة والخبرات اليومية. وتُشكِّل هذه المقدمات الجاذبة حافزًا للاستقصاء، يُحفِّز المتعلمين على تحليل الملاحظات، وتفسير الأدلة، وتحديد الأنماط، وصياغة تفسيرات أولية. وتأسيسًا على هذه المرحلة الاستكشافية، يتفاعل الطلاب مع المفاهيم، والمبادئ، والقوانين، والنماذج الكيميائية الجوهرية التي تفسر تلك الظواهر وتمنحهم إطارًا منظمًا لفهم العالم الطبيعي. وقد نُظِّم المحتوى هادفًا إلى ترسيخ **الفهم المفاهيمي العميق عوضًا عن الحفظ التلقيني**، مما يُمكِّن المتعلمين من إدراك العلاقات بين المفاهيم، وإقامة روابط وثيقة بين الأفكار، وتطبيق معارفهم بثقة في سياقات جديدة ومبتكرة. وعبر محطتي (حاول بنفسك) و(تدرب)، تُتاح للطلاب فرص حيوية لممارسة ما اكتسبوه وتطبيقه، وصولًا إلى بناء استيعابٍ رصين ومترابط ومتكامل لعلم الكيمياء.

ويتيح هذا الكتاب **مساراتٍ رحبة للتجريب، وحل المشكلات، والاستقصاء المستقل**؛ حيث يُحفَّز الطلاب على اختبار الأفكار، وجمع البيانات وتحليلها، وتقييم الأدلة، والتوصل إلى استنتاجات مدعومة بالأدلة. وعبر هذه الخبرات العملية، يكتسب المتعلمون ثقةً راسخة في توظيف التفكير العلمي، ليتحولوا إلى مشاركين فاعلين في بناء المعرفة، تجاوزًا لنمط التلقِّي السلبي للمعلومات.

يتكامل التقييم في عملية التعلم بوصفه أداة للتعلم والتحسين المستمر معًا. وتتيح الدروس محطات متنوعة للتقييم التكويني والختامي، تُمكن الطلاب من رصد تقدمهم، وتحديد مجالات نموهم المعرفي، وإظهار عمق فهمهم. وقد صُممت مهام التقييم بعناية لتُحاكي نمط الأسئلة الاختبارية، مع التركيز على تحفيز مهارات التفكير العليا، والتحليل، وتطبيق المعارف في سياقات جديدة وغير مألوفة.

أُولي اهتمام خاص لإبراز طبيعة العلم بوصفها ركيزةً أساسية للثقافة العلمية؛ حيث تُتاح للطلاب فرص لفهم كيفية توليد المعرفة العلمية، والتحقق من صحتها وتنقيحها، ونقلها داخل الأوساط العلمية. كما يشجع المنهج على تقدير إسهامات العلماء والمبتكرين الذين شكَّلت اكتشافاتهم فهمنا للعالم الكيميائي وأسهمت في تقدم الإنسانية.

يطوِّر الكتاب بصورة منهجية مهارات عمليات العلم، بدءًا من الملاحظة والقياس والتصنيف مرورًا بالاستدلال، والتنبؤ، والتجريب، وصولاً إلى تفسير البيانات والنمذجة والتواصل العلمي. وتتكامل هذه المهارات ضمن خبرات التعلم؛ لضمان ألّا يقتصر دور الطلاب على استيعاب المعرفة العلمية فحسب، بل يمتد إلى بناء الكفاءات اللازمة للتفكير والممارسة بأسلوب علمي.

وتناغمًا مع تطلعات التعليم المعاصر، يُرسّخ المنهج أبعاد الوعي العالمي والانفتاح الدولي؛ عبر ربط مفاهيم الكيمياء بالممارسات العلمية العالمية، والابتكارات التقنية، فضلًا عن التحديات البيئية وأهداف التنمية المستدامة. كما يحفز الطلاب على استيعاب الطبيعة المترابطة للمعرفة العلمية، وإدراك الدور المحوري للكيمياء في معالجة القضايا المؤثرة في المجتمعات على المستويات المحلية، والوطنية، والعالمية.

علاوة على ذلك، يستهدف المنهج تنمية التفكير الناقد والإبداعي؛ عبر إشراك الطلاب في تحليل الأدلة، وتقييم التفسيرات البديلة، وابتكار حلول ريادية، وتطبيق المعرفة العلمية في مواجهة تحديات واقعية. كما يُحفَّز المتعلمون على مقاربة المشكلات بمنظور العلماء والكيميائيين والمهندسين؛ مستندين إلى التفكير المنظومي وهندسة التصميم لاستقصاء الأسئلة وتطوير حلول عملية.

الدمج المتعمد بين مفاهيم الكيمياء وحياة الطلاب وخبراتهم إحدى السمات الجوهرية لهذا الكتاب؛ حيث تُطرح الأفكار العلمية عبر الفصول ضمن سياقات دلالية حيوية، مدعومةً بتطبيقات معاصرة مستمدة من الصناعة، والصحة، والتقنية، والطاقة، والاستدامة، والحياة اليومية. وتعمل هذه الروابط على ترسيخ أهمية الكيمياء في وجدان المتعلمين، بما يُمكّنهم من تقدير دورها المحوري في فهم العالم من حولهم والارتقاء به.

ومن الأبعاد الجوهرية أيضًا التزام المنهج بتعزيز التعلم التأملي؛ إذ يُحفَّز الطلاب على الانخراط في التقييم الذاتي والتفكير ما وراء المعرفي، مما يُمكِّنهم من رصد مستويات فهمهم، وتقييم استراتيجياتهم الدراسية، وتحمَّل مسئولية أكبر تجاه نموهم الأكاديمي. ومن خلال التأمل في محتوى تعلمهم وآلياته، يكتسب الطلاب عادات التعلم المستمر مدى الحياة، ليكونوا قادرين على التكيف مع مختلف التحديات والفرص المستجدة.

في نهاية المطاف، يهدف هذا الكتاب إلى بناء جيلٍ من المتعلمين المثقفين علميًّا، والمسئولين، والمبدعين؛ متسلحين بالمعارف، والمهارات، والقيم، والاتجاهات الكفيلة بتحقيق نجاحهم في عالمٍ سريع التغير. ونأمل أن تُلهم هذه الرحلة التعليمية الطلاب لاستكشاف الكيمياء بشغف، والتفكير بمنهجية، والعمل بمسئولية؛ بما يضمن إسهامهم الفاعل في رقيِّ المجتمع، ورسم مستَقَبلٍ مستدامٍ للإنسانية.

كيف تستخدم هذا الكتاب

يتّبع كل درس مسارًا استكشافيًّا يقودك في رحلة علمية شيِّقة:
لاحظْ • تساءلْ • استقصِ • فسِّرْ • طبِّقْ • قيِّمْ.

1 سؤال توجيهي
ينطلق كل درسٍ بسؤالٍ موجّه؛ يستثير تفكيرك، ويُحفّزك على ربط المفاهيم الكيميائية بالظواهر الواقعية من حولك.

2 مقدمة
سيناريو قصير أو ظاهرة أو سياق واقعي يقدّم الدرس ويوضح أهمية الموضوع في الحياة اليومية والتكنولوجيا والمجتمع.

3 تعلم
تُطرح من خلالها المفاهيم الأساسية، والتعريفات، والقوانين، والمبادئ، والنماذج العلمية بوضوح وفق بنية منهجية مُحكمة.

4 الاستكشاف
استقصِ الأنماط، وحلِّل الأدلة، وحدِّد العلاقات، وتنبأ بالنتائج قبل تقديم التفسيرات الرسمية.

5 مثال
تضم أسئلةً ونماذج استرشادية تعينك على توظيف المعرفة، وتهيئتك لاستيعاب معرفي أعمق.

6 الشرح
يركز الشرح على عمليات لتفكير العلمي و إجراء العمليات الحسابية و حل المشكلات.

7 فكّر كعالم كيمياء
استخدم التفكير العلمي لبناء استنتاجات مدعومة بالأدلة، وتقييم الادعاءات، وتفسير النتائج التجريبية.

8 فكّر كمهندس
استخدم مفاهيم الكيمياء لحل المشكلات العملية واتخاذ قرارات مبنية على الأدلة في سياقات تكنولوجية وهندسية.

9 تطبيق حياتي
اكتشف كيف تؤثر الكيمياء في تحقيق الاستدامة، وتعزيز الصحة، وإنتاج الطاقة، والصناعة والنقل والحياة اليومية.

10 بنية العلم
استكشف المفاهيم والنماذج والمبادئ العلمية التي تربط الدرس لتحقيق فهم علمي أعمق.

11 طبيعة العلم
استكشف منهجية العلماء في جمع الأدلة، وتصميم التجارب، وتحليل البيانات، لصياغة تفسيرات علمية موثوقة.

12 التصورات الخطأ
تعرَّف على التصورات الخاطئة للمفاهيم الكيميائية ليصبح فهمك أكثر دقة وسلامة علمية.

13 المعادلات في لمحة
يقدم خلاصةً شاملة للصيغ، والرموز، والعلاقات الجوهرية؛ لتكون مرجعًا سريعًا يسهل الرجوع إليه.

14 حاول بنفسك
طبّق المفاهيم الجديدة من خلال أسئلة موجهة وتمارين منظمة (ممارسة ما تعلمته).

15 تدرب
عمّق استيعابك عبر منظومة أسئلةٍ متدرجة الصعوبة؛ تُحفِّز مهارات التفكير، والتحليل، والحل الحسابي المنهجي.

16 تحدَّ تفكيرك
تعامل مع أسئلة عالية المستوى تتطلب التقييم والتركيب وحل المشكلات والحجج العلمي.

17 فكر وتأمل
راجع المفاهيم الأساسية من الدرس الحالي والدروس السابقة؛ لتعزيز الاستيعاب المستدام، وضمان جاهزيتك التامة للاختبارات.

دروسك في منهج البكالوريا المصرية

كل درس مرتبط بموضوع في منهج الكيمياء ضمن إطار البكالوريا المصرية

الفصل الأول - حالات المادة

١-١ تغيرات الحالة ١
١-٢ اتزان السائل والبخار وضغط البخار ٧
١-٣ مخطط الطور ١٣
١-٤ قوانين الغازات ١٧
١-٥ معادلة الغاز المثالي ٢٢
١-٦ الضغط الكلي والضغط الجزئي ٢٦
١-٧ الغاز المثالي والغاز الحقيقي ٣١
١-٨ خصائص المحاليل ٣٧
١-٩ ارتفاع درجة الغليان وانخفاض درجة التجمد ٤٣
١-١٠ الضغط الأسموزي ٥٠
١-١١ الغرويات (محاليل الغرويات) ٥٤
١-١٢ بنية البلورات الفلزية ٥٨
١-١٣ بنية البلورات الأيونية ٦٣

الفصل الثاني - التغيُّر والاتزان في المادة

٢-١ التفاعلات الكيميائية وتغيرات الإنثالبي ٦٨
٢-٢ قانون هس ٧٥
٢-٣ الخلية الكهروكيميائية (١) (خلية دانيال) ٧٩
٢-٤ الخلية الكهروكيميائية (٢) (خلايا متنوعة) ٨٤
٢-٥ التفاعلات عند الأقطاب الكهربائية (١) ٨٩
٢-٦ التحليل الكهربائي (٢) (كمية الكهرباء، خليتان تحليليتان) ٩٤
٢-٧ سرعة التفاعل ١٠٠
٢-٨ العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل ١٠٥
٢-٩ الاتزان الكيميائي ١١١
٢-١٠ مبدأ لوشاتيليه ١١٦
٢-١١ الاتزان الأيوني ١٢١
٢-١٢ الأملاح والمحاليل المائية ١٢٧
٢-١٣ حاصل الإذابة ١٣٣

الفصل الأول

حالات المادة

١-١ — تغيُّرات الحالة

مقدمة

تتغيَّر المادة من حولنا يوميًّا بطرق مثيرة للاهتمام: يذوب الجليد ليتحول إلى ماء، وتختفي البرك بعد المطر، وتتشكَّل السحب عاليًا في السماء. ورغم أن هذه التغيرات تبدو بسيطة، إلا أنها ناتجة عن حركة الجسيمات وانتقال الطاقة.

في هذا الدرس، سنكتشف كيف ولماذا تغيِّر المواد حالتها، ونتحقق من القوى المؤثرة بين الجسيمات، ونكتشف كيف تساعد هذه المفاهيم في تفسير الظواهر الطبيعية التي تشكِّل عالمنا.

؟ سؤال توجيهي: كيف تُشكِّل الطاقة حالات المادة من حولنا؟

تعلم

١. درجة الحرارة السيليزية ودرجة الحرارة المطلقة:

(أ) **درجة الحرارة السيليزية (المئوية):** هو مقياس درجة الحرارة المستخدم في الحياة اليومية، ويُقاس بالدرجات السيليزية (المئوية) (الرمز: °C).

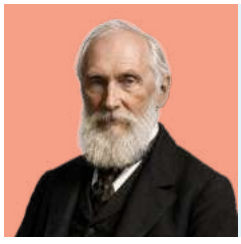
(ب) **درجة الحرارة المطلقة:** مقياس لدرجة الحرارة يبدأ من الصفر المطلق (−273 °C) ويستخدم يستخدم نفس قيمة التدريج المستخدمة في مقياس سيليزيوس. ووحدته هي الكلفن (الرمز: K).

– العلاقة بين الحرارة المطلقة T (بالكلفن) ودرجة حرارة سيليزيوس t (بالمئوية) هي: $T = t + 273$

صندوق المعادلة

العلاقة	التعبير	ملاحظة
المطلقة ↔ سيليزيوس	$T\,(K) = t\,(°C) + 273$	نفس الفاصل الزمني؛ تختلف نقطة الصفر بمقدار 273

تقدير العلماء



سُمِّي مقياس كلفن نسبة إلى اللورد كلفن، الذي ساعدت أبحاثه العلماء على فهم العلاقة بين درجة الحرارة والطاقة وحركة الجسيمات.

واليوم، يُستخدم مقياس كلفن على نطاق واسع في الكيمياء والفيزياء وعلوم الفضاء

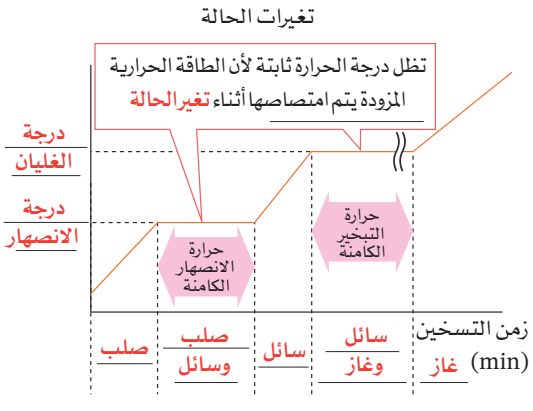
٢. تغيُّرات الحالة

(أ) يمكن أن تتغيَّر المادة بين الحالات الصلبة والسائلة والغازية من خلال الانصهار والغليان والتكاثف والتجمد.

(ب) تغيُّرات الحالة (انظر الشكل 1.1.1):

(i) **حرارة الانصهار:** كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 mol من مادة صلبة إلى سائلة.

(ii) **حرارة التبخر:** كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 mol من مادة سائلة إلى غازية.



شكل 1.1.1 العلاقة بين تغير درجة الحرارة والحالة الفيزيائية للمادة

(جـ) كيفية حساب كمية الحرارة:

(i) كمية الحرارة اللازمة لتغيُّرات الحالة:

يُعبَّر عن حرارة الانصهار وحرارة التبخر بوحدة (kJ/mol)، وتُقاس عند ضغط 1 atm.

بنية العلم

حقيقة أساسية:

تتوقف تغيرات الحالة ودرجات الانصهار/الغليان على انتقال الطاقة وقوى التجاذب بين الجسيمات.

المفاهيم الأساسية:

– درجة الحرارة بالسيليزيوس
– درجة الحرارة المطلقة
– حرارة الانصهار
– حرارة التبخر
– قوى فاندرفالز
– الرابطة الهيدروجينية

مثال: احسب كمية الحرارة اللازمة لانصهار 36 g من الجليد عند 0°C.
(علمًا بأن: حرارة انصهار الماء = 6.0 kJ/mol ، الكتلة المولية للماء = 18 g/mol)
الحل:
36 g من الجليد = 36 ÷ 18 = 2 mol
كمية الحرارة = 6.0 × 2.0 = 12 KJ

(ii) **كمية الحرارة المصاحبة للتغيرات في درجة الحرارة:**
السعة الحرارية النوعية للماء هي 4.2 J/g.°C ، أي أن 4.2 J هي كمية الحرارة التي ترفع درجة حرارة جرام واحد من الماء.

مثال: كمية الحرارة اللازمة لتسخين 100 g من الماء من 5 °C إلى 25 °C هي:
$4.2\ [J/(g\cdot°C)] \times 100\ (g) \times [25 - 5]\ [°C] = 8400\ J = 8.4\ kJ.$
$Q = m.c.\ (t_2 - t_1)$

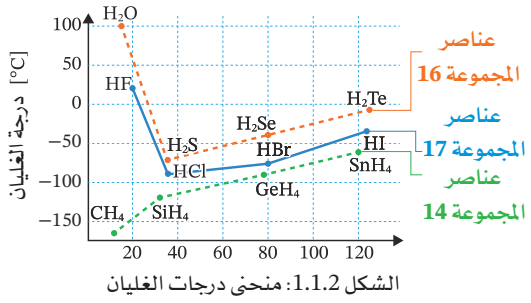
فكّر كمهندس:
إذا كنت تصمم نظام تبريد لنقل اللقاحات إلى المجتمعات النائية. أي خاصية ستكون أكثر أهمية عند اختيار مادة التبريد؟
– حرارة انصهار عالية – حرارة تبخير عالية
قدم دليلًا على إجابتك مستخدما منحنى نقطة الغليان.
.....

٣. القوى بين الجسيمات ودرجات الانصهار/الغليان

(أ) **القوى بين الجزيئات:** قوى تجاذب بين الجزيئات. وهي **أضعف** من الروابط التساهمية والروابط الأيونية والروابط الفلزية.

(i) **قوى فاندرفالز Vander waals:** قوى تجاذب ضعيفة بين الجزيئات، والتي تزداد بزيادة الكتلة الجزيئية النسبية. وبالنسبة للجزيئات ذات الكتلة الجزيئية النسبية المتشابهة، تكون **القوى** بين الجزيئات القطبية **أقوى** من تلك بين الجزيئات غير القطبية.

(ii) **الرابطة الهيدروجينية:**
رابطة تتكوَّن بين ذرتين لهما سالبية كهربية عالية (F, O, N) عبر ذرة هيدروجين مرتبطة تساهميًا بإحداهما. والروابط الهيدروجينية أقوى من قوى تجاذب فاندرفالز.



الشكل 1.1.2: منحنى درجات الغليان

(ب) **القوى بين الجسيمات ونقاط الانصهار/الغليان:**
كلما كانت قوى التجاذب بين جزيئات المادة أقوى، كلما ارتفعت درجة الانصهار ودرجة الغليان.

مثال: من درجات غليان المواد الموضحة في الشكل 1.1.2:
$H_2O > H_2S$ نظرًا لتكوُّن روابط **هيدروجينية** بين جزيئات الماء، كما أن HBr > HCl بسبب الكتلة الجزيئية النسبية الأكبر لبروميد الهيدروجين، وكذلك لان هيدريدات عناصر المجموعة 14 جزيئات غير قطبية، فإن نقاط غليانها منخفضة.

مثال:

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) سُخِّن 90 g من الماء عند 30°C حتى تحولت تمامًا بالكامل إلى بخار عند 110°C. كم KJ من الحرارة يتم امتصاصها؟ أجب لأقرب رقمين عشريين.

علمًا بأن الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من الماء بمقدار 1K هي 4.2 J/(g·K)،

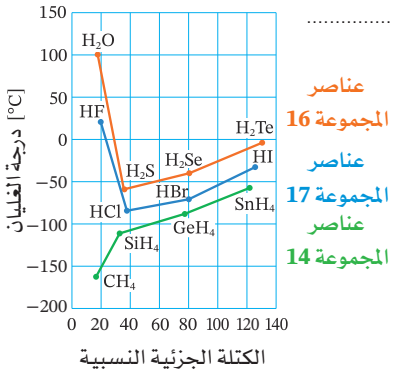
والحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من البخار بمقدار 1K هي 2.1 J/(g·K)،

وأن حرارة التبخر هي 41 kJ/mol (O = 16 , H = 1.0)

.....

(ب) يوضِّح الشكل المقابل درجات غليان هيدريدات عناصر المجموعات 14 و16 و17.

باستخدام الشكل، حدِّد ما إذا كان كل جزء تحته خط صحيحًا (T) أو خاطئًا (F)، مع تصحيح الخطأ.



(١) بين هيدريدات نفس المجموعة في الدورات من 3 إلى 5، كلما قلت الكتلة الجزيئية النسبية، ارتفعت درجة الغليان.

(٢) نظرًا لأن هيدريدات عناصر المجموعة 14 جزيئات قطبية، فإن درجات غليان هيدريدات المجموعة 14 منخفضة في نفس الدورة.

(٣) نظرًا لتكوُّن روابط هيدروجينية بين جزيئات HF، فإن درجة غليان HF أعلى من درجة غليان HCl.

(جـ) أي المادتين لها درجة غليان أعلى، CO_2 أم SiO_2؟ أجب باستخدام صيغتها الكيميائية.

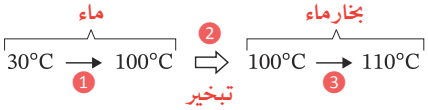
كن مواطنًا عالميًا

يظل الحصول على المياه النظيفة أحد أكبر التحديات التي تواجه البشرية. تستخدم العديد من الدول – بما في ذلك مصر والسعودية وسنغافورة وأستراليا – تقنيات تعتمد على التبخر والتكاثف لإنتاج مياه شرب نظيفة.

الشرح

(أ) بملاحظة تغيُّرات الحالة التي تحدث احسب على الترتيب:

❶ كمية الحرارة اللازمة لتغيُّر درجة حرارة الماء.



❷ كمية الحرارة اللازمة لتغيُّر الحالة من ماء إلى بخار.

❸ كمية الحرارة اللازمة لتغيُّر درجة حرارة البخار.

عند التعبير عن الفرق في درجات الحرارة، فإن درجة الحرارة المطلقة [K] ودرجة الحرارة المئوية [°C] تعطي نفس القيمة العددية

١. أولًا، كمية الحرارة اللازمة لتسخين 90 g من الماء من 30°C إلى 100°C

يتم حساب الحرارة اللازمة لتغير الحالة باستخدام كمية المادة [mole].

$$4.2\ J/(g\cdot K) \times 90\ g \times (100 - 30)\ K = 26460\ J = 26.46\ kJ$$

٢. بعد ذلك، احسب كمية الحرارة اللازمة لتحويل الماء إلى بخار. بما أن الكتلة المولية للماء هي 18 g/mol، فإن 90 g من الماء تعادل $90\ g / 18\ g/mol = 5.0\ mol$.

لذلك، كمية الحرارة اللازمة لتحويل 5.0 mol من الماء عند 100°C إلى بخار عند 100°C هي: $41\ kj/mol \times 5.0\ mol = 205\ kj$.

٣. وأخيرًا، كمية الحرارة اللازمة لتسخين 90 g من البخار عند 100°C إلى 110°C هي:

$$2.1\ J/(g{\cdot}K) \times 90\ g \times (110 - 100)\ K = 1890\ J = 1.89\ kJ$$

لذلك، إجمالي كمية الحرارة المتصة هي:

$$26.46\ kJ + 205\ kJ + 1.89\ kJ = 233.35\ kJ \approx 2.33{\times}10^2\ kJ$$

(ب) (1) من الشكل، يمكن ملاحظة أنه بالنسبة للمركّبات في نفس المجموعة ضمن الدورات من 3 إلى 5، كلما زادت الكتلة الجزيئية النسبية، ارتفعت درجة الغليان. ← خطأ (F): زادت

(2) هيدريدات عناصر المجموعة 14 جزيئات غير قطبية والجزيئات غير القطبية لها قوى فاندرفالز بين جزيئاتها أضعف مقارنة بالجزيئات القطبية؛ لذا فإن درجة غليانها أقل. ← خطأ (F): جزيئات غير قطبية.

(3) صحيح (T).

(جـ) CO_2 بلورة جزيئية، أما SiO_2 فهو بلورة شبكية تساهمية (بنية تساهمية عملاقة). وفي البلورات الشبكية التساهمية والبلورات الأيونية والبلورات الفلزية، تكون القوى بين الجسيمات (ذرات/أيونات) أقوى من القوى بين الجزيئات، لذا فإن درجات انصهارها وغليانها مرتفعة. لذلك، فإن SiO_2 له درجة غليان أعلى.

ملاحظة: في الجزيئات ذات التراكيب المتشابهة، كلما زادت الكتلة الجزيئية النسبية، زادت قوى فاندرفالز.

حاول بنفسك:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. مادتان (A , B) لهما نفس الكتلة الجزيئية النسبية، تغلي المادة A عند 100°C، بينما تغلي المادة B عند 35°C.

أي من الاستنتاجات التالية يعد صحيحًا؟

(أ) تحتوي المادة A على عدد أقل من الجزيئات.

(ب) تمتلك المادة A قوى تجاذب بين جزيئاتها أقوى.

(جـ) تمتلك المادة A روابط تساهمية أضعف.

(د) تحتوي المادة A على ذرات أكبر.

الإجابة: .....

٢. تختفي بركة ماء بعد عدة ساعات من هطول المطر. أي مما يلي يعد التفسير الذي يوضِّح هذه الملاحظة بشكل أفضل؟

(أ) تم تكسير جزيئات الماء.

(ب) تحوُّل الماء إلى غازَي الهيدروجين والأكسجين.

(جـ) اكتسبت جزيئات الماء طاقة وتحولت للحالة الغازية.

(د) تفاعل الماء مع الأكسجين في الغلاف الجوي.

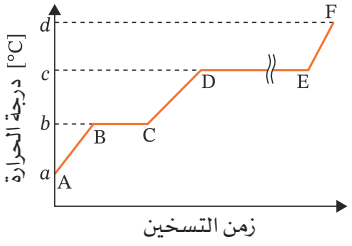
الإجابة: .....

أجب عن الأسئلة التالية:

٣. كم [kj] من الحرارة تُمتص لتحويل 36 g من الماء عند 50°C إلى بخار عند 110°C؟ أجب بالتقريب لأقرب رقمين عشريين. علمًا بأن الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من الماء السائل بمقدار 1°C هي 4.2 J/(g.°C)، والحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من البخار بمقدار 1°C هي 2.1J/(g.°C)، وأن حرارة تبخير الماء عند 100°C هي 41 kJ/mol. (H = 1.0 , O = 16)

.....

٤. يوضِّح الشكل التالي تغير درجة حرارة جسم صلب من المادة (X) عند درجة حرارة (a°C) عند تسخينه حتى يتحول إلى الحالة الغازية عند درجة حرارة (d°C).



أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) ما العملية التي تحدث خلال الفترة ثابتة الحرارة BC؟ وحدّد أيضًا حالة المادة X في ذلك الوقت.

.....

(ب) ما اسم درجتَي الحرارة a (°C) و b (°C) على الترتيب؟

.....

(جـ) تكتسب المادة (X) كمية من الحرارة خلال الفترتين BC وDE، و لا ترتفع درجة الحرارة. فيمَ تُستخدم هذه الحرارة؟

.....

(د) ما اسم كمِّيتَي الحرارة المكتسبتين خلال الفترتين BC وDE على الترتيب؟

.....

تدرب:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. أي من المواد التالية تتوقَّع أن يكون لها أعلى درجة غليان؟

(أ) CH_4

(ب) H_2S

(جـ) H_2O

(د) CO_2

الإجابة: .....

٢. لاحظ عالِم أن المادة X تنصهر عند درجة حرارة أعلى بكثير من المادة Y. ما الذي يمكن استنتاجه؟

(أ) قوي التجاذب بين جزيئات المادة X أقوي

(ب) عدد جسيمات المادة X أقل

(جـ) الكتلة الجزيئية للمادة X أقل

(د) تحتوي المادة X على عدد أكبر من الجسيمات الغازية

الإجابة: .....

أجب عن الأسئلة التالية:

٣. كم [kj] من الحرارة تلزم لتسخين 9.0 g من الجليد عند 0C إلى ماء عند 80°C ؟

أجب لأقرب رقمين عشريين.

علمًا بأن حرارة انصهار الجليد هي 6.0 kJ/mol وأن السعة الحرارية النوعية للماء هي 4.2 J/(g·K).

(H = 1.0 , O = 16)

.....

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيري

.....

✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته

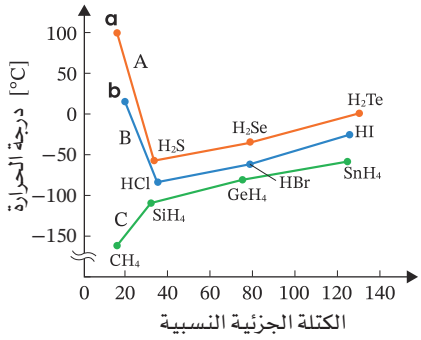
.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في استكشافه

.....

٤. يوضِّح الشكل المقابل:

العلاقة بين الكتلة الجزيئية النسبية ودرجة الغليان، والرموز من A إلى C تعبر عن جزيئات هيدريدات لعناصر في نفس المجموعة. أجب عن الأسئلة التالية:



(أ) اكتب الصيغ الكيميائية للجزيئات a وb.

.....

.....

(ب) في الجزيئات ذات التركيب والروابط المتشابهة جدًّا كتلك الموجودة في المجموعة C، بشكل عام، كلما زادت الكتلة الجزيئية النسبية، ارتفعت درجة الانصهار ودرجة الغليان. اذكر السبب في ذلك.

.....

(جـ) بمقارنة المركَّبات الثلاثة ذات أصغر كتلة جزيئية نسبية في المجموعات A وB وC، تكون درجتي الغليان a وb أعلى بشكل ملحوظ مقارنة بـ CH_4 في C. اذكر سبب هذا الفرق.

.....

تحدَّ تفكيرك:

الماء له كتلة جزيئية أقل بكثير من H_2Te، ومع ذلك فإن درجة غليان الماء أعلى بكثير. هل يمكن للكتلة الجزيئية وحدها أن تفسِّر درجة الغليان؟ اكتب تفسيرًا علميًّا لإجابتك.

.....

.....

.....

١-٢ — اتزان السائل والبخار وضغط البخار

مقدمة

عندما نصنع الشاي، أو نغلي الماء، تظهر فقاعات فجأة وترتفع إلى السطح. هل تساءلت يومًا عما يوجد داخل هذه الفقاعات؟ هل هي مليئة بالهواء، أم ببخار الماء، أم بشيء آخر؟ ولماذا لا تتكون إلا عندما تصل درجة حرارة الماء إلى حد معين؟

في هذا الدرس، ستستقصي العلاقة بين ضغط البخار، والغليان، والاتزان بين السائل والبخار للكشف عن العلم الكامن وراء هذه الظاهرة اليومية.

؟ سؤال توجيهي: كيف تحدد حركة الجسيمات والقوى بين الجزيئات ما إذا كان السائل يتبخر، أم يتكثف، أم يغلي؟

تعلم

١. وحدات الضغط (Units of pressure)

(أ) 1 باسكال (Pa): هو الضغط الناتج من تأثير قوة مقدارها 1 نيوتن (N) على مساحة قدرها $1m^2$

(ب) 1 هيكتوباسكال (hPa) = 100 باسكال (Pa)

(جـ) 1 ضغط جوي = 1.013×10^5 Pa = 1013 hpa

٢. الاتزان بين السائل والبخار وضغط البخار:

(أ) الاتزان بين السائل والبخار:

عند ترك سائل في وعاء مغلق دون التأثير عليه بأي مؤثر خارجي، تحدث عمليتان في نفس الوقت

- **التبخر (Evaporation):** هروب جزيئات من سطح السائل في صورة بخار
- **التكثف (Condensation):** عودة بعض من جزيئات البخار إلى سطح السائل.

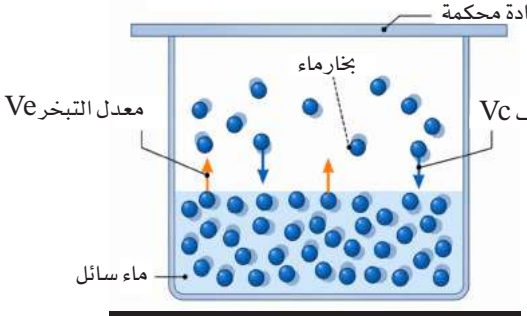
الطاقة الحركية لجزيئات السائل:

لا تمتلك جميع الجزيئات المكونة للسائل نفس الطاقة الحركية.

العلاقة بين درجة الحرارة والطاقة:

مع ارتفاع درجة الحرارة، تزداد نسبة «الجزيئات عالية الطاقة» والتي تكون قادرة على التغلب على قوى التجاذب بين الجزيئات والتبخر. وبناءً على ذلك، **يزداد معدل التبخر (عدد الجزيئات التي تتبخر في وحدة الزمن)**.

نموذج الاتزان الديناميكي بين الغاز والسائل



معدل التبخر = معدل التكثيف

الشكل 1.2.1 العلاقة بين معدل التبخر ومعدل التكثف

على الرغم من أنه يبدو كما لو أن كلتا العمليتين (التبخر والتكثف) قد توقفتا، إلا أن الحركة الجزيئية لم تتوقف في الواقع. وتسمى هذه الحالة الاتزان بين السائل والبخار **(Equilibrium Liquid–Vapor)**.

بنية العلم

حقيقة أساسية:

يصل السائل الموجود في وعاء مغلق إلى حالة تحدث فيها عمليتا التبخر والتكثيف بمعدلات متساوية، وتسمى هذه الحالة حالة التوازن بين البخار والسائل.

المفاهيم الأساسية:

- ضغط البخار
- ضغط البخار المشبع
- التبخر- التكثيف
- حالة توازن البخار والسائل
- الغليان
- الضغط الجوي
- ضغط الغاز
- الفراغ

(ب) ضغط البخار:

هو ضغط البخار المؤثر على سطح السائل عند حالة الاتزان بين السائل والبخار ويسمى (ضغط البخار المشبع) وللتبسيط يسمي ضغط البخار.

خصائص ضغط البخار:

العوامل التى تؤثر في ضغط البخار:

- درجة الحرارة:

مع ارتفاع درجة الحرارة، يزداد عدد الجزيئات ذات الطاقة الحركية العالية، وبالتالي يزداد ضغط البخار. ويُسمى المنحنى البياني الذي يوضح هذه العلاقة بـ**منحنى ضغط البخار**.

- نوع المادة:

المواد ذات القوى بين الجزيئية الأضعف تتبخر بسهولة أكبر، وبالتالي يكون لها ضغط بخار أعلى عند نفس درجة الحرارة. (على سبيل المثال: اثيرثنائي الايثيل > الإيثانول > الماء)

العوامل التى لا تؤثر في ضغط البخار:

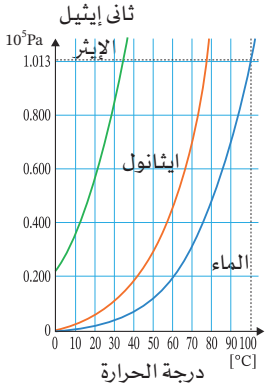
- الحجم:

يظل ضغط البخار ثابتًا طالما ظلت درجة الحرارة ثابتة والسائل موجودًا، بغض النظر عن التغيرات في كمية السائل أو حجم البخار داخل الوعاء.

(جـ) الغليان:

هو ظاهرة تحدث عندما تتصاعد جزيئات السائل في صورة بخار من باطن السائل وليس من سطح السائل فقط.

يحدث الغليان عندما يتساوى ضغط البخار مع الضغط الخارجي (الضغط الجوي).



مثال: وفقًا للرسم البياني، عند ضغط جوي يبلغ 1.013×10^5 Pa، يغلي الماء عند 100°C درجة مئوية.

فكر بشكل نقدي: الادعاء • الدليل • الاستدلال (CER)

قم ببناء حجتك

الادعاء: السائل الذي يتمتع بضغط بخار أعلى يتبخر بسهولة أكبر.

الدليل: استخدم المعلومات الواردة في الرسم البياني لضغط البخار.

الاستدلال: وضح كيف تدعم حركة الجسيمات والقوى بين الجزيئات هذا الادعاء.

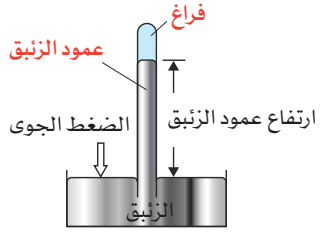
.....

تطبيق حياتي: أواني الضغط:

يغلي الماء عندما يتساوى ضغطه البخاري مع الضغط الجوي المحيط به. وباستخدام غطاء محكم الإغلاق، تقوم حلة الضغط بحبس البخار بالداخل، مما يؤدي إلى رفع الضغط وبالتالي رفع درجة غليان الماء - ونتيجة لذلك، يَنضج الطعام بشكل أسرع بكثير عند درجات الحرارة المرتفعة.

٣. عمود الزئبق وضغط الغاز:

(أ) عمود الزئبق: عندما يُملأ أنبوب زجاجي مغلق من أحد طرفيه بالزئبق ثم يُقلب داخل وعاء يحتوي على الزئبق، فإن عمود الزئبق يستقر عند ارتفاع معين كما هو موضح في الشكل 1.2.3، ويتم تشكيل عمود زئبق داخل الأنبوب. في هذه اللحظة، يصبح جزء الأنبوب العلوي فراغًا.



شكل 1.2.3 قياس الضغط الجوى

1-2 الاتزان بين السائل والبخار

(ب) عمود الزئبق والضغط:

- يتناسب ارتفاع عمود الزئبق **تناسبًا طرديًّا** مع الضغط الجوي.
- يبلغ ارتفاع عمود الزئبق **760 mm** مم عند 1.013×10^5 pa (1 atm).
  باستخدام وحدة (mmHg)، $1.013 \times 10^5 \text{ pa} = 760 \text{ mmHg}$.
- إذا تم إدخال غاز إلى الجزء العلوي من العمود، ينخفض الارتفاع؛ ومقدار هذا الانخفاض يتناسب طرديًّا مع ضغط الغاز.

وحدات الضغط

الوحدة	التعبير
1 atm	1.013×10^5 Pa = 1013 hPa = 760 mmHg
1 hPa	100 Pa
شروط الغليان	ضغط البخار = الضغط الخارجي (الضغط الجوي)

استكشف بالتجربة:

اصنع مؤشر الضغط الجوي الخاص بك

المواد

- زجاجة فارغة
- برطمان أو وعاء بلاستيكي
- بالون (أو ورقة مطاطية قابلة للتحلل البيولوجي)
- شريط مطاطي
- ماصَّة شرب (يفضل أن تكون ورقية)
- ورق مقوى أو ورق معاد تدويره
- غراء أو شريط لاصق
- قلم تحديد.

احتياطات السلامة

استخدم المقص بحذر عند القص

- تأكد من خلو البرطمان الزجاجي من أي شقوق
- أبقِ الجهاز بعيدًا عن الحرارة الزائدة
- اعمل تحت إشراف المعلم عند استخدام الأدوات الحادة.

الخطوات

1. اقطع البالون وافرده بإحكام على فتحة البرطمان.
2. استخدم شريطًا مطاطيًّا لتثبيته بإحكام في مكانه.
3. ثبت أحد طرفي الماصة بشريط لاصق في منتصف سطح البالون الممدود.
4. ضع قطعة من الورق المقوى خلف الماصة وارسم مقياسًا بسيطًا مع علامات مرجعية.
5. احتفظ بالجهاز في نفس المكان وسجل موضع الماصة على مدار عدة أيام.

كيف يعمل؟

تؤثر التغيرات في الضغط الجوي على غشاء البالون المرن.

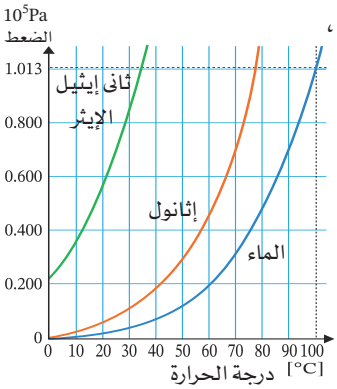
- يؤدي ارتفاع الضغط الجوي إلى دفع الغشاء لأسفل.
- يؤدي انخفاض الضغط الجوي إلى تحرك الغشاء لأعلى.

مع تحرك الغشاء، تعمل القشة كمؤشر، تشير إلى التغيرات في الضغط الجوي.

مثال:

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) يمثل الرسم البياني منحنيات ضغط البخار للإيثيرثنائي الايثيل، والإيثانول، والماء. أجب عن الأسئلة التالية:



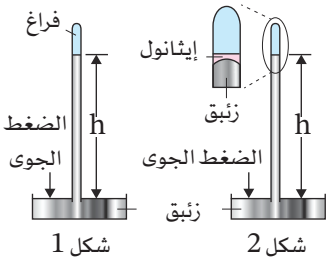
الشكل 1.2.2 العلاقة بين ضغط بالبخار ودرجة الحرارة

(i) ما درجة غليان الإيثانول عندما يكون الضغط الجوي 1.0×10^5 Pa؟

(ii) أي من المواد الثلاث، تتميز بأضعف قوى بين الجزيئية.

(iii) أى من المواد الثلاث، أقل تبخر عند 20°C؟

(ب) عند درجة حرارة 25°C وضغط 1.013×10^5 Pa عندما يُملأ أنبوب زجاجي طوله 1m ومغلق من أحد طرفيه بالزئبق ويُوضع كما هو موضح في الشكل 1، يصبح ارتفاع h للزئبق في الأنبوب الزجاجي 760 mmHg، ويصبح الجزء العلوي من عمود الزئبق فراغًا. فإن الضغط الجوي في هذه الحالة يساوي 760 mmHg



أجب عن الأسئلة التالية:

(i) عندما يكون الضغط الجوي 3.039×10^4 Pa فما قيمة h بـ mm؟

(ii) كما هو موضح في الشكل 2، عندنا ادخال كمية صغيرة من الإيثانول إلى الجزء الفراغي من الأنبوب الزجاجي ويصل إلى حالة اتزان بين الحالة البخارية والسائلة، ماذا قيمة h [mm] عند ضغط جوي 1.013×10^5 Pa؟ افترض أن ضغط البخار المشبع للإيثانول عند 25°C يساوي 65 mmHg، وأن كتلة الإيثانول يمكن تجاهلها.

الكيمياء حول العالم

قد تتأثر طريقة طهي الناس ببيئتهم.

في المناطق المرتفعة من سطح البحر يؤدي انخفاض الضغط الجوي إلى غليان الماء عند درجة حرارة أقل من 100°C وللتغلب على هذه المشكلة تستخدم العديد من الأسر أواني الضغط، التي ترفع الضغط داخل الوعاء، وتسمح بطهي الطعام بكفاءة أكبر.

الشرح

(أ) (i) بما أن درجة الحرارة التي يتساوى عندها الضغط الجوي مع ضغط البخار هي درجة الغليان، فما عليك سوى قراءة درجة الحرارة التي يكون عندها ضغط البخار 1.013×10^5 Pa ومن الرسم البياني، نجد أن درجة غليان الإيثانول عندما يكون ضغط البخار 10×10^4 Pa $= 1.0 \times 10^5$ Pa تصبح 78°C

(ii) كلما ضعفت قوي التجاذب بين الجزيئات، انخفضت درجة الغليان. المادة التي لها أقل درجة غليان عند 10×10^4 هي إيثرثنائي الإيثيل. وبالتالي، فإن الإجابة هي إيثرثنائي الإيثيل.

(iii) كلما زاد ضغط البخار، زاد عدد الجزيئات السائل التي تهرب من السائل، ويحدث التبخر. لذلك، فإن المادة الأقل احتمالًا للتبخر هي الماء، الذي له أقل ضغط بخار عند 20°C وفقًا للرسم البياني.

(ب) (i) يتناسب ارتفاع عمود الزئبق تناسبًا طرديًا مع الضغط الجوي. عندما يكون الضغط الجوي 1.013×10^5 Pa، يكون ارتفاع عمود الزئبق h يساوي 760 mm، لذا فإن ارتفاع عمود الزئبق h عند الضغط الجوي 3.039×10^4 Pa يساوى:

$$1.013 \times 10^5 \text{ Pa} : 760 \text{ mm} = 3.039 \times 10^4 \text{ Pa} : h \text{ [mm]}$$

الإجابة: $h = 228$ mm

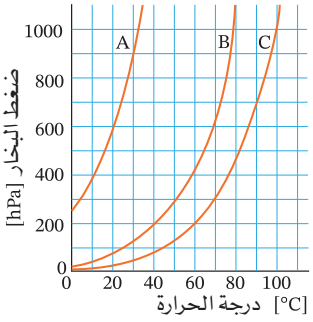
(ii) عندما يُدخل الإيثانول إلى الجزء العلوي ويصل إلى حالة الاتزان بين البخار والسائل، داخل الأنبوب، يؤدي ضغط بخار الإيثانول المشبع إلى انخفاض مستوى الزئبق بمقدار 65 mmHg. وبما أن h = 760 mmHg عندما يكون الجزء العلوي في حالة فراغ عند ضغط جوي 1.013×10^5 Pa، فإن قيمة h عند إدخال الإيثانول هي:

$$h = 760 - 65 = 695 \text{ mm}$$

حاول بنفسك:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. يوضح الشكل منحنيات ضغط البخار للمواد من A إلى C. أجب عما يلي.



(أ) استنتج من الشكل درجة غليان المادة A عند 1.0×10^5 Pa

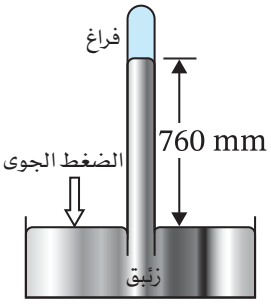
(ب) ما درجة غليان الماء عند قمة جبل سيناء

(الضغط الجوي 0.75×10^5 Pa)

(جـ) اكتب حرف المادة التي تتميز بأضعف قوى تجاذب بين الجزيئات.

الإجابة: .....

٢. عندما يُملأ أنبوب زجاجي طوله 1m مغلق من الطرف العلوي، بالزئبق ويُقلب في حوض زئبق كما هو موضح في الشكل، عند ضغط جوي يبلغ 1.0×10^5 Pa بلغ ارتفاع عمود الزئبق في الأنبوب 760 mm أجب عن الأسئلة التالية لأقرب رقمين عشريين.



(أ) حدد حالة الفراغ الموجود في الجزء العلوي من الأنبوب.

(ب) عند مرور موجة باردة، ينخفض الضغط الجوي ويصبح ارتفاع العمود 745 mm. ما هو الضغط الجوي [pa]؟

(جـ) عند إدخال قدر ضئيل من الغاز من الجزء السفلي للأنبوب انخفض ارتفاع العمود إلى 494 mm. ما هو ضغط الغاز في الأنبوب [pa]؟

الإجابة: .....

تدرب:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. لماذا ينخفض الضغط الجوي كلما زاد الارتفاع عن سطح الأرض؟

(أ) تزداد حجم جزيئات الهواء.

(ب) يحتوي الغلاف الجوي على كمية أقل من الأكسجين.

(جـ) يقل عدد جزيئات الهواء فوق ذلك الموقع.

(د) يختفي بخار الماء.

الإجابة: .....

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيري

.....

✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته

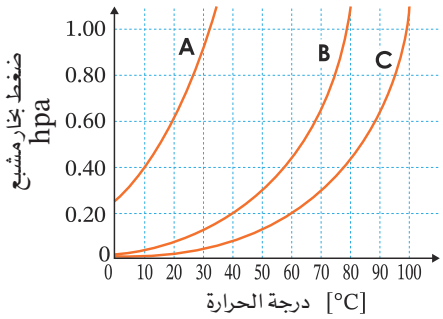
.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في استكشافه

.....

٢. يوضح الشكل منحنيات ضغط البخار للمواد من A إلى C.

أجب عن الأسئلة التالية.



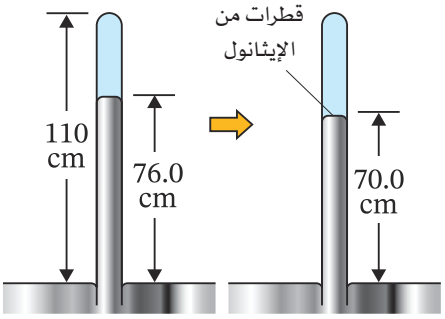
(أ) استنتج من الشكل درجة غليان المادة A عند 1.0×10^5 Pa

(ب) ما درجة غليان الماء عند قمة جبل سيناء (الضغط الجوي 0.75×10^5 Pa)

الإجابة: .....

(جـ) اكتب حرف المادة التي تتمتع بأضعف قوى بين الجزيئية

٣. عند ضغط 1.01×10^5 Pa ودرجة حرارة 25°C، تم ملء أنبوب زجاجي مغلق من أحد طرفيه بالزئبق وقُلب في حوض به زئبق، بحيث يكون 110 cm من الأنبوب فوق سطح الزئبق؛ واستقر عمود الزئبق عند 76.0 cm وعند حقن الإيثانول، يتبخر كله وينخفض العمود، ومع إضافة المزيد من الإيثانول، ينخفض أكثر، عندما تبقى قطرات سائلة من الإيثانول، يستقر العمود عند 70.0 cm ما هو ضغط البخار المشبع للإيثانول عند 25°C مقدرا بوحدة Pa؟ أجب لأقرب رقمين عشريين.



الإجابة: .....

٣-١ — مخطط الطور

مقدمة

يمكن أن يتواجد الماء على شكل جليد (صلب)، أو ماء سائل، أو بخار ماء (غاز). وتحت ظروف معينة، يمكن أن تتواجد الحالات الثلاث معًا في نفس الوقت. وعند درجات حرارة وضغوط مرتفعة للغاية، يختفي الفرق تمامًا بين السائل والغاز. فكيف يمكن لمادة واحدة أن تتصرف بطرق مختلفة كهذه؟ في هذا الدرس، ستتعلم كيف يستخدم الكيميائيون مخططات الحالة للتنبؤ بحالة المادة وتفسير بعض الخصائص الغريبة للمواد.

سؤال توجيهي: كيف يمكن لمخطط الطور أن يساعدنا في التنبؤ بالحالة الفيزيائية للمادة وتفسيرها تحت ظروف مختلفة؟

تعلم

المفهوم الأساسي: مخطط (الحالة الفيزيائية) للمادة النقية :

تتحدد حالة المادة النقية (صلبة، سائلة، أو غازية) بناءً على ظروف درجة الحرارة والضغط. ومخطط الطور هو تمثيل بياني يوضح الحالة التي تتواجد عليها المادة عند درجة حرارة وضغط معينين.

الفهم البياني لمخطط الحالة الفيزيائية:

ادرس مخطط الطور (الحالة الفيزيائية) ثم أجب عن الأسئلة التالية :

- أي منحنى يفصل بين الحالة السائلة والحالة الغازية؟

الإجابة : .....

- أي منحنى يفصل بين الحالة الصلبة والحالة السائلة؟

الإجابة : .....

- أي منحنى يفصل بين الحالة الصلبة والحالة الغازية؟

الإجابة : .....

ادعم إجاباتك باستخدام الأدلة والبراهين من المخطط.

الإجابة : .....

بنية العلم

حقيقة أساسية:

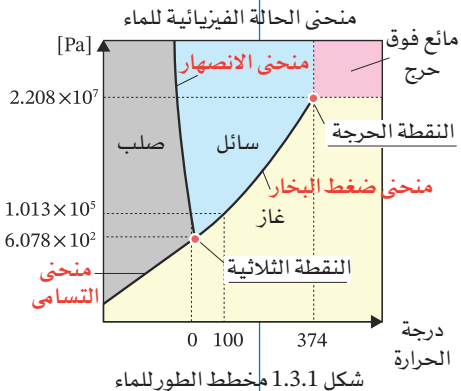
يُظهر مخطط الطور الحالة الفيزيائية (صلبة، سائلة، أو غازية) لمادة نقية عند درجات حرارة وضغوط مختلفة.

المفاهيم الأساسية:

- مخطط الطور لمادة نقية.

١. المناطق الثلاث والمنحنيات الثلاثة في مخطط الطور:

ينقسم مخطط الحالة (الحالة الفيزيائية) إلى ثلاث مناطق تفصل بينها ثلاث منحنيات، حيث تعبر كل منطقة عن الطور من حالات المادة الثلاث. وعلى طول المنحنيات التي تفصل بين هذه الحالات تتواجد الحالتان المتجاورتان في حالة اتزان ديناميكي عند درجة الحرارة والضغط المحددين:



شكل 1.3.1 مخطط الطور للماء

- **منحنى الانصهار:**

هو الحد الفاصل بين الحالتين الصلبة والسائلة.

- **منحنى ضغط البخار:**

هو الحد الفاصل بين الحالتين السائلة والغازية (البخار).

- **منحنى التسامي:**

هو الحد الفاصل بين الحالتين الصلبة والغازية (البخار).

تنبأ بحالة المادة:

توجد مادة ما عند نقطة داخل المنطقة السائلة. توقع ما سيحدث في الحالات التالية:

- إذا ارتفعت درجة الحرارة بينما ظل الضغط ثابتًا.

.....

- إذا انخفض الضغط بينما ظلت درجة الحرارة ثابتة.

.....

استخدم مخطط الطور لتبرير إجابتك

.....

٢. النقاط المهمة في مخطط الطور:

توجد «نقاط» مهمة على مخطط الطور توضح الخصائص الفريدة للمادة.

النقطة الثلاثية:

هى النقطة التي تتقاطع عندها المنحنيات الثلاثة. وعند درجة الحرارة والضغط المحددين لهذه النقطة، تتواجد المادة في الحالات الثلاث (الصلبة، والسائلة، والغازية) معًا في نفس الوقت في حالة اتزان.

النقطة الحرجة والمائع فوق الحرج:

النقطة الحرجة هي نقطة محددة من درجة الحرارة والضغط تقع عند الطرف العلوي لمنحنى ضغط البخار، والتي لا يمكن عندها التمييز بين الحالتين السائلة والغازية.

عند درجات حرارة وضغوط أعلى من هذه النقطة (الظروف فوق الحرجة)، تتواجد المادة في حالة ينعدم فيها الفارق بين السائل والغاز، وتظهر خصائص وسيطة بينهما. وتسمى المادة في هذه الحالة مائعًا فوق حرج.

قراءة مخطط الطور:

الخاصية	ما ترمز إليه
منحنى الانصهار	الحد الفاصل بين الصلب والسائل
منحنى ضغط البخار	الحد الفاصل بين السائل والغاز
منحنى التسامى	الحد الفاصل بين الصلب والغاز
النقطة الثلاثية	تتواجد الحالات الصلبة والسائلة والغازية معًا في حالة اتزان
النقطة الحرجة	تصبح الحالتان السائلة والغازية غيرقابلتين للتمييز

تطبيقات حياتية:

الموائع فوق الحرجة في الصناعة:

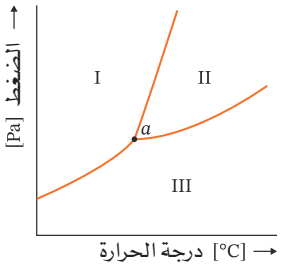
تمتلك الموائع فوق الحرجة خاصية مذهلة؛ إذ يمكنها اختراق المسام والفتحات مثل الغاز، ولها قدرة على إذابة المواد مثل السائل.

مثال: يُستخدم غاز ثانى أكسيد الكربون فوق الحرج (CO_2) لاستخلاص الكافيين فقط من حبوب القهوة (إزالة الكافيين). تُستخدم هذه التقنية أيضًا عالميًا لاستخلاص مكونات العطور من الياسمين والورد المزروع في مصر دون إتلاف روائحها الذكية الحساسة للحرارة.

مثال:

(أ) في المناطق I و II و III، ما هي حالة ثاني أكسيد الكربون على التوالي؟
اختر المجموعة الصحيحة من (أ) إلى (د).

أ. I: غاز	II: سائل	III: صلب
ب. I: صلب	II: غاز	III: سائل
ج. I: صلب	II: سائل	III: غاز
د. I: سائل	II: غاز	III: صلب

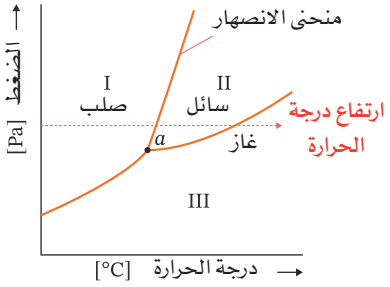


(ب) اكتب اسم تغير الحالة عند الانتقال من المنطقة II إلى المنطقة I.

(جـ) كيف تتغير درجة انصهار ثاني أكسيد الكربون الصلب مع زيادة الضغط؟

(د) ماذا تسمى النقطة (a)؟

الشرح



(أ) افترض أن الحالة تتغير من صلبة إلى سائلة إلى غازية مع ارتفاع درجة الحرارة عند ضغط ثابت.

الإجابة: ج

(ب) إنه تغير في الحالة من سائلة إلى صلبة.

التجمد (التصلب).

(جـ) درجة الحرارة التي يتحول عندها الجسم الصلب إلى سائل هي درجة الانصهار. ومن منحنى الانصهار الموضح في الشكل، يمكن ملاحظة أنه كلما زاد الضغط، ارتفعت درجة الانصهار.

(د) النقطة الثلاثية.

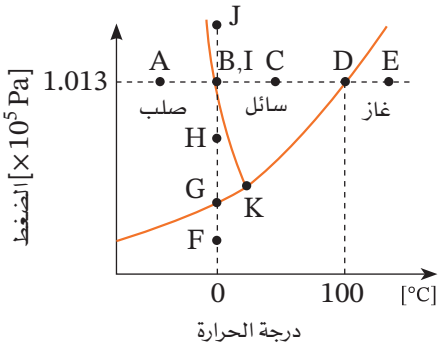
حاول بنفسك:

أجب عن الأسئلة التالية:

املأ الفراغات من (I) إلى (VIII) بالمصطلحات العلمية المناسبة، مستعينًا بمخطط الطور للماء.

(أ) عند تسخين الماء من A إلى E، يبدأ المادة الصلبة في التحول إلى سائل عند (I) عند 0°C يظل (II) ثابتًا حتى يتحول كل المادة الصلبة إلى سائل، ولكن بعد أن تخضع كل المادة الصلبة لـ (I)، ترتفع درجة الحرارة مرة أخرى وتستمر الحالة السائلة حتى النقطة D.

تُسمى درجة الحرارة عند النقطة D بـ (III)، وتبلغ تلك الدرجة 100°C. إذا استمر التسخين، يظل (II) ثابتًا حتى يتحول كل السائل (IV) إلى (V).



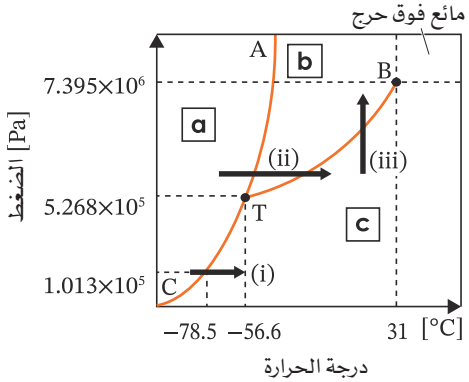
(ب) مع زيادة الضغط من F إلى J، عند G، يبدأ الغاز في تكوين مادة صلبة عن طريق (VI)، وعند H، يتحول كله إلى مادة صلبة، وعند I، تتحول المادة الصلبة (VII) لتشكل سائلًا. في هذه الحالة، تكون كثافة السائل عند النقطة J أكبر من كثافة المادة الصلبة عند النقطة H. علاوة على ذلك، تسمى النقطة K التي تتقاطع عندها المنحنيات (VIII).

التحديات الكبرى

تصميم مسكن على كوكب المريخ سيحتاج رواد الفضاء في المستقبل إلى مصادر موثوقة للمياه. باستخدام معرفتك بمخططات الأطوار، صمم نظامًا يحافظ على الماء في الحالة السائلة على كوكب المريخ. ضع في اعتبارك درجة الحرارة، الضغط. الحلول الهندسية. اعرض تصميمك والشرح العلمي له.

تدرب:

الشكل يمثل مخطط الاطوار ثانى أكسيد الكربون. استنادًا إلى هذا المخطط، أجب عن الأسئلة التالية.



(أ) ما هي الحالة التي يكون عليها CO_2 في المناطق من (a) إلى (c) على التوالى؟

الإجابة: .....

(ب) ما هي أسماء المنحنيات AT و BT و CT، على التوالى؟

الإجابة: .....

(جـ) ماذا تسمى النقطة T، حيث تتقاطع المنحنيات الثلاثة؟

الإجابة: .....

(د) ماذا يُسمى التغير في الحالة الذي يشير إليه السهم (i)؟

الإجابة: .....

(هـ) اشرح بإيجاز التغير في الحالة الذى يحدث عند رفع درجة الحرارة كما هو موضح في السهم (ii).

الإجابة: .....

(و) ما اسم التغير في الحالة الذى يحدث عند رفع الضغط كما في السهم (iii)؟

الإجابة: .....

(ز) عند درجات حرارة وضغوط أعلى من النقطة B، تصبح الحالات غير قابلة للتمييز. ما اسم النقطة B؟

الإجابة: .....

تحد تفكيرك:

ارسم مسار التغير لمادة تبدأ من الحالة الصلبة.

ارسم مسارًا على مخطط الحالات يؤدى إلى:

١. انصهار **٢.** الغليان **٣.** التكثف **٤.** التجميد

اشرح كل تغير في مخططك

.....

.....

.....

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيرى

.....

✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته

.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في استكشافه

.....

٤-١ — قوانين الغازات

مقدمة

في يوم صيفي حار، قد يبدو إطار الدراجة أكثر صلابة مما كان عليه في صباح بارد، حتى على الرغم من عدم إضافة أو إزالة أي هواء. كيف يمكن أن يؤثر التغير في درجة الحرارة على سلوك الغاز داخل الإطار؟

في هذا الدرس، ستستكشف العلاقة بين الضغط والحجم ودرجة الحرارة، وكيف يستخدم الكيميائيون القوانين الرياضية للتنبؤ بسلوك الغازات في الحياة اليومية وفي مجال التكنولوجيا.

؟ سؤال توجيهي: كيف يمكن للعلاقات الرياضية أن تساعدنا في تفسير سلوك الغازات والتنبؤ به تحت ظروف متغيِّرة؟

الاستكشاف

تأمَّل:

- إطار دراجة متروك تحت الشمس.
- بالون طقس يرتفع عبر الغلاف الجوي.
- وعاء غاز محكم الغلق موضوع في مجمد الثلاجة.

بدون استخدام المعادلات:

- ما التغيرات التي قد تحدث لكل منها؟ .....
- ما المؤثرات التي تتوقع أن تكون أثرت على كل منها؟ .....

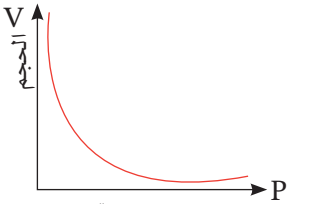
تعلم

قوانين الغازات

(أ) **قانون بويل:** عند ثبات درجة حرارة، يتناسب حجم كمية معينة من الغاز V عكسيًّا مع ضغطه P عند درجة حرارة ثابتة، عندما يتغيَّر غاز ضغطه P_1 وحجمه V_1 ليصبح ضغطه P_2 وحجمه V_2، تنطبق المعادلة التالية:

- $PV =$ ثابت (Constant)
- $P_1V_1 = P_2V_2$

قانون بويل (أ)



الشكل 1.4.1 : قانون بويل

(ب) **قانون شارل:** عند ثبات الضغط، يتناسب حجم كمية معيَّنة من الغاز V طرديًّا مع درجة حرارته المطلقة T.

- عند ضغط ثابت، عندما تتغير درجة حرارة غاز T_1 وحجمه V_1 لتصبح درجة حرارته T_2 وحجمه V_2،

تنطبق عليه المعادلة التالية: $\frac{V}{T} =$ ..... ثابت $= \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

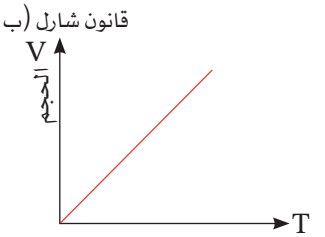
(جـ) **قانون الغاز الموحد (قانون بويل-شارل):**

حجم كمية معيَّنة من الغاز V يتناسب عكسيًّا مع ضغطه P وطرديًّا مع درجة حرارته المطلقة T

- عندما تتغيَّر كمية معيَّنة من الغاز له حجم V_1 وضغط P_1 ودرجة حرارة مطلقة T_1 إلى حجم V_2 وضغط P_2 ودرجة حرارة مطلقة T_2، تنطبق المعادلة التالية:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

قانون شارل (ب)



الشكل 1.4.2 قانون شارل

بنية العلم

حقيقة أساسية:

- عند درجة حرارة ثابتة، يتناسب حجم الغاز عكسيًّا مع ضغطه. (قانون بويل)
- عند ضغط ثابت، يتناسب حجم الغاز تناسبًا طرديًّا مع درجة حرارته المطلقة (قانون شارل)

التصورات الخطأ

مفهوم خاطئ:

- إذا زاد الضغط، تصبح جزيئات الغاز أصغر.

صحيح

- جزيئات الغاز لا تتقلص. بل تقل المسافة بين الجزيئات.

(د) تطبيق قوانين الغازات:

لإيجاد حجم أو ضغط أو درجة حرارة كمية معيَّنة من الغاز، **يُستخدم قانون الغاز**. وعند استخدام قوانين الغازات، يجب التعبير عن درجة الحرارة **كدرجة حرارة مطلقة** [كلفن].

صندوق المعادلات:

القانون	الشرط	العلاقة
قانون بويل	T ثابتة	$P_1V_1 = P_2V_2$ (PV = ثابت)
قانون شارل	P ثابت	$V_1/T_1 = V_2/T_2$ (V/T = ثابت)
قانون الغاز المشترك	—	$P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$ (PV/T = ثابت)

تقدير العلماء

في القرن السابع عشر، درس روبرت بويل بعناية العلاقة بين الضغط والحجم.

أثبتت تجاربه أن القوانين العلمية يمكن أن تنبثق من الملاحظات المنهجية، والقياسات الدقيقة، والتحليل الرياضي.

فكّر كعالم كيمياء:

نادرًا ما يقيس الكيميائيون كل خاصية من خصائص الغاز مباشرة. بدلًا من ذلك، يستخدمون علاقات راسخة للتنبؤ بالكميات غير المعروفة من قياسات معروفة.

عند حل مسألة تتعلق بقوانين الغازات، اسأل نفسك:

- ما هي العوامل التي تتغيَّر؟

.....

- ما هي العوامل التى لم تتغير وتظل ثابتة؟

.....

- ما قانون الغاز الذى يصف الموقف بشكل أفضل؟

.....

تطبيق علمي: تصميم وعاء غاز آمن:

يجب على المهندسين مراعاة التغيُّرات في الضغط ودرجة الحرارة عند تصميم أسطوانات الغاز المستخدمة في المستشفيات والمختبرات والصناعات.

- التصميم غير الآمن قد يؤدي إلى ضغط خطير للغاز.
- تساعد قوانين الغازات في التنبؤ بهذه التغيُّرات وتصميم تقنيات أكثر أمانًا.

مثال:

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) عيِّنة من الغاز لها حجم 200 mL عند ضغط 4.0×10^4 Pa، إذا تغيَّر الحجم إلى 1.0 L عند درجة حرارة ثابتة، فما الضغط الجديد [Pa]؟ (لأقرب رقمين عشريين).

(ب) تشغل عيِّنة من الغاز 60 L عند 27°C وضغط 1.0×10^5 Pa، إذا تغيَّرت درجة الحرارة إلى 87°C والضغط إلى 2.5×10^5 Pa ، فما الحجم الجديد [L]؟ (لأقرب رقمين عشريين)

الشرح

(أ) بما أننا بحاجة لإيجاد ضغط كمية معيَّنة من الغاز، نستخدم قانون الغاز المشترك:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

ليكن P الضغط المطلوب. الضغط قبل التغيُّر 4.0×10^4 Pa ، والحجم $V_1 = 200\text{mL}$.

الضغط بعد التغيُّر $P_2 = P$ (Pa)، والحجم $V_2 = 1.0\text{L}$.

$$\frac{4.0\times10^4\text{pa}\times0.200\text{ L}}{T_1} = \frac{p[\text{pa}]\times1.0\text{L}}{T_2}$$

وبما أن درجة الحرارة ثابتة $(T_1 = T_2)$، فإن: $p = 4.0 \times 10^4 \times 0.200\text{ L} = 8.0 \times 10^3\text{ pa}$

(ب) بما أننا بحاجة لإيجاد حجم كمية معيَّنة من الغاز، نستخدم قانون الغاز المشترك:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

لتكن V الحجم المطلوب. درجة الحرارة قبل التغيُّر $T_1 = (27 + 273)\text{K}$،

والضغط $P_1 = 1.0 \times 10^5$ Pa والحجم $V_1 = 60\text{ L}$

درجة الحرارة بعد التغيُّر $T_2 = (87 + 273)\text{K}$ ، والضغط $P_2 = 2.5 \times 10^5$ Pa ،

والحجم $V_2 = V\text{ L}$:

$$\frac{1.0\times10^5\text{pa}\times60\text{L}}{(27+273)\text{k}} = \frac{2.5\times10^5\text{pa}\times V[\text{L}]}{(87+273)\text{k}}$$

$$\frac{1.0\times10^5\text{pa}\times60\text{L}}{300\text{k}} = \frac{2.5\times10^5\text{pa}\times V[\text{L}]}{360\text{k}}$$

$$V = \frac{1.0\times10^5\text{Pa}\times60\text{ L}\times360\text{k}}{300\text{k}\times2.5\times10^5\text{pa}}$$

$$= \frac{72}{2.5} = 28.8 \approx 29\text{ L}$$

طبيعة العلم ... تُعد النماذج العلمية مهمة؟

قوانين الغازات لا تصف جزيئات الغاز الفردية. بل تقدم نماذج تساعد العلماء على تفسير وتوقع السلوك الجماعي لملايين الجزيئات.

حاول بنفسك:

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) عندما يتعرَّض 4.0 L من غاز عند 1.0×10^5 Pa إلى ضغط 2.0×10^5 Pa عند درجة حرارة ثابتة، ما الحجم [L]؟ (لأقرب رقمين عشريين)

الإجابة: .....

(ب) لزيادة حجم 2.00 L من غاز عند 27°C و 2.0×10^5 Pa إلى 2.50 L مع ثبات الضغط، ما درجة الحرارة [°C] اللازمة لذلك؟ (لأقرب عدد صحيح)

الإجابة: .....

(جـ) عندما ترفع درجة حرارة غاز عند 0°C و ضغط 1.0×10^5 Pa إلى 97°C مع ثبات الحجم، ما الضغط [Pa] الناتج؟ (لأقرب رقمين عشريين)

الإجابة: .....

(د) عند خفض درجة حرارة 500 mL من غاز عند 77°C و ضغط 3.0×10^5 Pa إلى 47°C ليصبح حجمه 2.0 L، ما ضغط الغاز الناتج بعد التغيير [Pa] الضغط بالباسكال؟ (لأقرب رقمين عشريين)

الإجابة: .....

تدرب:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. وفقًا لقانون شارل عندما يُبرَّد بالون بينما يبقى الضغط ثابتًا فإن:

(أ) الحجم يزداد.

(ب) الحجم يقل.

(جـ) الضغط يزداد.

(د) عدد المولات يزداد.

الإجابة: .....

٢. قام طالب بحساب حجم غاز باستخدام قانون الغاز ووجد أن الحجم الناتج له قيمة أكبر من الحجم الابتدائي. أى مما يلى يمكن أن يفسِّر هذه النتيجة؟

(أ) زاد الضغط بينما ظلت درجة الحرارة ثابتة.

(ب) زادت درجة الحرارة بينما انخفض الضغط.

(جـ) انخفضت درجة الحرارة بينما زاد الضغط.

(د) انخفض كلٌّ من درجة الحرارة والحجم.

الإجابة: .....

٣. أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) عندما يضغط 5.0 L من غاز ضغطه 1.0×10^5 Pa إلى 1.0 L عند درجة حرارة ثابتة، احسب ضغط الغاز بعد تغير الحجم؟ (لأقرب رقمين عشريين)

.....

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيري

.....

✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته

.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في استكشافه

.....

(ب) عند تغير ضغط 320 mL من غاز عند 10°C و ضغط 5.0×10^5 Pa إلى 4.0×10^5 Pa عند درجة حرارة ثابتة، احسب حجم الغاز [mm] بعد تغير الضغط؟ (لأقرب رقمين عشريين)

.....

(جـ) عند رفع درجة حرارة 3.0 L من غاز عند 7°C و 1.0×10^5 Pa إلى 127°C مع ثبات الضغط، احسب حجم الغاز [L] بعد تغير درجة الحرارة؟ (لأقرب رقمين عشريين)

.....

(د) عند زيادة حجم كمية من الغاز عند 7°C من 2.00 L إلى 6.00 L عند ضغط ثابت، احسب درجة حرارة الغاز بعد زيادة الحجم؟ (لأقرب رقم صحيح)

.....

(هـ) عند زيادة درجة حرارة 3.0 L من غاز عند 7°C و 1.5×10^5 Pa إلى 127°C مع ثبات الحجم، احسب ضغط الغاز [Pa] بعد تغير درجة الحرارة؟ (لأقرب رقمين عشريين)

.....

(و) عند رفع ضغط غاز عند درجة حرارة 27°C وضغطه 2.00×10^5 Pa إلى 2.20×10^5 Pa مع ثبات الحجم، احسب درجة الحرارة مقدرا بـ °C بعد زيادة الضغط؟ (لأقرب عدد صحيح)

.....

(ز) عندما يتغيَّر حجم 2.0 L من غاز عند 23°C و ضغط 1.5×10^5 Pa إلى حجم 3.0 L عند 117°C، احسب ضغط الغاز بعد التغيير [Pa]؟ (لأقرب رقمين عشريين)

.....

(ح) عندما تتغير درجة حرارة و ضغط 600 L غاز عند 27°C و 2.00×10^5 Pa إلى 0°C و 9.10×10^5 Pa، احسب حجم الغاز بعد التغيير؟ (لأقرب رقمين عشريين)

.....

تحدَّ تفكيرك:

أطلق بالون من مستوى سطح البحر ووصل إلى ارتفاع يكون فيه الضغط الجوي أقل بكثير من الضغط عند سطح البحر. دون إجراء حسابات:

- توقَّع كيف سيتغيَّر حجم البالون.

.....

- اشرح إجابتك باستخدام نظرية الجسيمات.

.....

- اذكر قانون غاز يدعم تفسيرك بشكل أفضل.

.....

- ارسم مخططًا بسيطًا لتوضيح أفكارك

٥-١ — معادلة الغاز المثالي

مقدمة

اكتشف كيميائي وعاءً محكم الغلق مملوءًا بغاز مجهول. ومن خلال قياس ضغطه وحجمه ودرجة حرارته وكتلته، يستطيع الكيميائي تحديد خصائص الغاز دون أن يلاحظ جزيئاته مباشرة. لنستكشف كيف يستخدم الكيميائيون القياسات والقوانين الرياضية لكشف أسرار الغازات.

سؤال توجيهي: كيف يمكن لمعادلة واحدة أن تساعد العلماء على تفسير سلوك الغازات والتنبؤ به تحت ظروف مختلفة؟

الاستكشاف

تأمَّل المواقف التالية:

- عجين الخبز يرتفع في الفرن.
- علبة عصير محكمة الغلق تنتفخ عند تركها في سيارة درجة الحرارة بها مرتفعة.
- أسطوانة غاز تُستخدم في الطقس البارد.
- غواص يتنفس هواءً مضغوطًا تحت الماء.

دون استخدام الحسابات:

- ما المتغيرات التي قد تتغيَّر؟ .....
- ما المتغيرات التي قد تبقى ثابتة؟ .....
- ما الملاحظات التي تتوقعها؟ .....

تعلم

قانون الغاز المثالي

العلاقة بين متغيرات حالة الغاز – الضغط (P)، الحجم (V)، درجة الحرارة المطلقة (T)، وكمية المادة (n) – تُدمَج في قانون رياضي واحد يُعرف **بقانون الغاز المثالي**.

يمكن استنتاج ذلك من قانون الغاز المشترك (قانون بويل–شارل).

الخطوة ١: البدء بمول واحد من الغاز

تذكَّر قانون الغاز المشترك (قانون بويل–شارل). لكمية ثابتة من الغاز، الذي ينصُ على أن حاصل ضرب ضغطه وحجمه يتناسب طرديًّا مع درجة حرارته المطلقة.

فإذا اعتبرنا (1 mole) من الغاز، (نُعرِّف الحجم المولي بأنه v [L/mol] والثابت بأنه R. فهذا يؤدي إلى المعادلة التالية:

$$Pv = RT$$

الخطوة ٢: تحديد ثابت الغازات المولي (R)

بغض النظر عن نوع الغاز، يشغل (1 mole) من أي غاز حجمًا (الحجم المولي) قدره 22.4 L/mol في الظروف القياسية (1.013×10^5 Pa ، 273 K = 0°C).

بالتعويض بهذه القيم القياسية في المعادلة السابقة (Pv =RT)، يمكننا حساب الثابت R، الذي يُسمَّى ثابت الغازات المولي.

$$R = \frac{pv}{T} = \frac{1.013 \times 10^5 \text{ pa} \times 22.4 \text{ L/mol}}{273 \text{ k}} = 8.31 \times 10^3 = \frac{\text{Pa.L}}{\text{mol.k}}$$

بنية العلم

حقيقة أساسية:

يجمع قانون الغاز المثالي بين القوانين التي اكتشفها العلماء السابقون في معادلة واحدة تفسر وتتنبأ بسلوك الغاز في ظروف مختلفة.

المفاهيم الأساسية:

- الضغط .
- الحجم .
- الحجم المولي .
- الكتلة المولية .
- الثابت المولي للغاز (R).

الخطوة ٣: بالزيادة n مول (تكملة قانون الغاز المثالي):

عندما تكون كمية المادة n[mol]، فإن الحجم الكلي V يساوى حاصل ضرب عدد المولات n والحجم المولى v فإن $(V = nv)$ ومنها $(v = V \div n)$ وبالتعويض في الخطوة 1، ثم ضرب الطرفين في n، نحصل على معادلة الغاز المثالي: $PV = nRT$

تطبيق قانون الغاز المثالي وتحديد الكتلة المولية

يمكن استخدام قانون الغاز المثالي لإيجاد الكتلة المولية لغاز مجهول.

إذا كانت كتلة الغاز ω [gm] والكتلة المولية للغاز M [gm/mol] (تساوي عدديًّا الكتلة الجزيئية النسبية)، فإن $n = \frac{\omega}{M}$. بالتعويض في قانون الغاز المثالي نحصل على العلاقة التالية:

$$PV = \frac{\omega}{M} RT$$

باستخدام هذه المعادلة، يمكنك حساب الكتلة المولية (M) للغاز من القيم المقاسة تجريبيًا، مثل كتلته وحجمه.

صندوق المعادلات

الكمية	العلاقة
قانون الغاز المثالي (1 mol)	$Pv = RT$
ثابت الغازات المولي	$R = 8.31 \times 10^3$ Pa.L/mol.K
قانون الغاز المثالي (n mol)	$PV = nRT$
قانون الكتلة المولية	$PV = (\omega/M)\ RT$

تطبيق حياتي:

الحرارة وإطارات السيارات: توخَّ الحذر من انفجار إطارات السيارات في الصيف، عندما يكون سطح الأسفلت ساخنًا جدًّا. يفسِّر قانون الغاز المثالي، $PV = nRT$، هذا الخطر: مع بقاء كمية الهواء (n) وحجم (V) داخل الإطار ثابتين تقريبًا، فإن الارتفاع السريع في درجة حرارة الهواء (T) من الطريق الساخن يرفع الضغط الداخلي (P) بشكل متناسب.

استخدام الرياضيات في الكيمياء

تطبيق قانون الغاز المثالي:

تحديد الكتلة المولية بالمعادلات العلمية ليست مجرد اختصارات رياضية. وإنها معادلات مبنية على أدلة تجريبية.

تساعد معادلة الغاز المثالي العلماء بما يلي:

- التنبؤ بسلوك الغاز.
- اختبار الفرضيات.
- تحليل البيانات.
- الوصول بالنتائج لشكل كمي.

مثال:

أجب لأقرب رقمين عشريين. افترض أن $R = 8.31 \times 10^3$ Pa.L/(mol.K)

(أ) أجب عما يلي:

(i) احسب كمية الغاز [mol] التي تشغل حجم 8.3 L عند 27°C وضغط 3.0×10^5 Pa.

(ii) احسب الضغط مقدرًا [Pa] الناتج من زيادة حجم 1.0 mol من غاز إلى 24.07 L عند 17°C.

(ب) احسب الكتلة الجزيئية النسبية لغاز كثافته 0.53g/L عند 27°C وضغط 3.0×10^4 Pa.

الشرح

(أ) (i) لتحديد كمية المادة، نستخدم معادلة الغاز المثالي. ولتكن كمية المادة المطلوبة n [mol].

من معادلة الغاز المثالي PV = nRT:

$$3.0 \times 10^5 \text{Pa} \times 8.3\text{L} = n[\text{mol}] \times 8.31 \times 103\ \text{Pa.L}/(\text{K.mol}) \times (27 + 273)\text{K}$$

$$n = \frac{3.0 \times 10^5\ \text{pa} \times 8.3\ \text{L}}{8.3 \times 10^3\ \text{Pa.L}/(\text{k.mol}) \times (27 + 273)\ \text{k}}$$

$$= \frac{\overset{1}{3.0} \times \overset{1}{10^5}\ \text{pa} \times \overset{2}{\cancel{8.3}}\ \text{L}}{\underset{1}{\cancel{8.3}} \times \underset{1}{\cancel{10^3}}\ \text{Pa.L}/(\text{k.mol}) \times \underset{1}{\overset{3}{\cancel{300}}}\ \text{k}}$$

$$= 1.0\ \text{mol}$$

(ii) بما أن كمية المادة معطاة، فإننا نستخدم معادلة الغاز المثالي. وليكن الضغط المطلوب P [Pa]. من معادلة الغاز المثالي PV = nRT:

$$P\ [\text{Pa}] \times 24.07\ \text{L} = 1.0\ \text{mol} \times 8.31 \times 10^3\ \text{Pa.L}/(\text{mol.K}) \times (17 + 273)\ \text{K}$$

$$P = \frac{1.0\ \text{mol} \times 8.3 \times 10^3\ \text{Pa.L}/(\text{K.mol}) \times (17 + 273)\text{K}}{24.07\ \text{L}}$$

$$= \frac{1.0\ \text{mol} \times 8.3 \times 10^3\ \text{Pa.L}/(\text{K.mol}) \times 290\ \text{K}}{24.07\ \text{L}}$$

$$= \frac{\overset{1}{\cancel{24.07}} \times 10^5}{\underset{1}{\cancel{24.07}}} = 1.0 \times 10^5\ \text{Pa}$$

(ب) تُحدَّد الكتلة الجزيئية النسبية من الكتلة المولية [g/mol]. ولتكن الكتلة المولية لهذا الغاز M [g/mol]. بما أن الكثافة 0.53 g/L، فإن الكتلة هي 0.53 [g] عندما يكون الحجم 1.0 L لذلك، فكمية مادة هذا الغاز (n) هي $\frac{0.53}{M}$ [mole].

$$\text{كمية المادة بالمول} = (n) \frac{\text{الكتلة (gm)}}{\text{الكتلة المولية (gm/mol)}}$$

وبما أن كمية المادة (n) فإنه يمكن حسابها، باستخدام معادلة الغاز المثالي PV = nRT:

$$3.0 \times 10^4\ \text{Pa} \times 1.0\ \text{L} = \frac{0.53}{M}\ \text{mol} \times 8.31 \times 10^3\ \text{Pa.L}/(\text{K.mol}) \times (27 + 273)\text{K}$$

$$M = \frac{0.53 \times 8.3 \times 10^3 \times 300}{3.0 \times 10^4 \times 1.0} = 43.99$$

لذلك فإن الكتلة الجزيئية النسبية لهذا الغاز هي ≈ 44 g/mol

حاول بنفسك:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. افترض أن $R = 8.31 \times 10^3$ Pa.L/(K.mol) و (O = 16)

(أ) عندما يتعرض 0.10 mol من غاز لضغط قدره 2.0×10^5 Pa عند 57 °C، كم سيصبح الحجم باللتر؟

(ب) عند وضع 0.32 gm من غاز الأكسجين في وعاء سعته 500mL عندما 27°C فكم يكون الضغط داخل هذا الوعاء بالباسكال؟

٢. أجب لأقرب عدد صحيح. افترض أن $R = 8.31 \times 10^3$ pa. L/ (k.mol)

(أ) عندما تبخرت مادة متطايرة كتلتها 1.2 gm بالكامل، كان حجمها 1.2 L عند 77°C وضغطها 1.0×10^5 Pa = أوجد الكتلة الجزئية النسبية لهذه المادة.

(ب) أوجد الكتلة الجزيئية النسبية لغاز كتلة 7.6 gm لحجم قدره 4.15 L عند 17°C وضغط 2.32×10^5 Pa

(جـ) أوجد الكتلة الجزيئية النسبية لغاز كثافة 2.4 g/L عند 27°C وضغط 1.0×10^5 Pa

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. لماذا تكون قيمة R ثابتة لجميع الغازات المثالية؟

(أ) جميع الغازات لها نفس اللون تحت نفس الظروف.

(ب) جميع الغازات لها نفس الكتلة تحت نفس الظروف.

(جـ) جميع الغازات تسلك نفس السلوك تحت نفس الظروف.

(د) جميع الغازات لها نفس الكثافة تحت نفس الظروف.

الإجابة: .....

٢. كيميائي يقيس الكتلة والضغط والحجم ودرجة الحرارة لغاز مجهول ويستخدم قانون الغاز المثالي لحساب الكتلة المولية. أي كمية يجب قياسها بالإضافة إلى P ,V ,T؟

(أ) نصف القطر الذري. (ب) لون الغاز.

(جـ) كتلة عيِّنة الغاز. (د) كثافة الماء.

الإجابة: .....

أجب عن الأسئلة التالية:

٣. افترض أن $R = 8.31 \times 10^3$ Pa.L/(K.mol)

(أ) يوجد 0.10 mol من ثاني أكسيد الكربون في حجم 2.9 L عند 17°C. ما ضغطه [Pa]؟

(ب) عندما يتعرَّض 2.0 mol من الغاز لضغط 2.1×10^5 Pa عند 27°C، ما حجم الغاز [L]؟

(جـ) بزيادة حجم 0.50 mol من الغاز إلى 33.2 L عند 4.0×10^4 Pa، ما درجة الحرارة المطلوبة [°C]؟

(د) ما كمية المادة [mol] التي تشغل حجم 16.6 L من غاز عند 127°C وعند ضغط 2.1×10^5 Pa؟

الإجابة: .....

تحدَّ تفكيرك:

تشغل عيِّنة غازية 2.50 L عند 27°C و ضغط 1.0×10^5 Pa

عند رفع درجة حرارته حتى يتضاعف الضغط بينما يبقى الحجم ثابتًا.

دون إجراء حسابات:

- توقَّع ماذا يحدث لمتوسط الطاقة الحركية لجزيئات الغاز.

.....

- اشرح كيف تتغيَّر تصادمات الجزيئات.

.....

- و ضح إجاباتك باستخدام معادلة الغاز المثالي.

.....

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيري.

.....

✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته.

.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في استكشافه.

.....

٦-١ — الضغط الكلي والضغط الجزئي

مقدمة

تخيَّل غواصًا في أعماق البحر يتنفس خليطًا خاصًّا من الغازات، أو رائد فضاء داخل مركبة فضائية محاط بغازات مضبوطة بعناية. ماذا سيشعر كل منهما في كل حالة؟ لنستكشف قانون دالتون وكيف يفسِّر لماذا يزداد ضغط كل غاز في أسطوانة التنفس مع العمق؛ مما يؤثر على سلامة الغواص تحت الماء.

؟ سؤال توجيهي: كيف يمكن لغازات غير مرئية في نفس الحيز ومع ذلك تتصرف كغازات مستقلة؟

الاستكشاف

يستخدم غواص خليطًا من الأكسجين والنيتروجين بدلًا من الأكسجين النقي. لماذا؟

- الأكسجين ضروري للحياة.
- النيتروجين يؤثر على الضغط الكلي.
- تغيير نسبة الغازات يغيِّر تأثيرات الضغط على جسم الغواص.

تعلم

الضغط الكلي والضغط الجزئي

(أ) الضغط الكلي: ضغط خليط من الغازات (عدة غازات لا تتفاعل مع بعضها البعض).

(ب) الضغط الجزئي: الضغط الناتج عن كل غاز منفردًا عندما يشغل نفس حجم الخليط.

(جـ) قانون دالتون للضغوط الجزئية: عند حجم ودرجة حرارة ثابتين، فإن الضغط الكلي لخليط من الغازات يساوي مجموع الضغوط الجزئية للغازات المكوّنة للخليط.

- إذا كان الضغط الكلي لخليط غازي هو P، والضغوط الجزئية لغازاته المكوّنة هي $P_1, P_2, P_3 ...$، فإن المعادلة التالية تنطبق: $P = P_1 + P_2 + P_3 + ...$

التصورات الخطأ:

✗ **فكرة غير صحيحة:** «بعد خلط الغازات، يفقد كل غاز ضغطه الخاص»

✓ **الصحيح:** يحتفظ كل غاز بضغطه الجزئي الخاص ويساهم في الضغط الكلي.

✗ **فكرة غير صحيحة:** «الجزيء الغازي الأكبر هو من يُحدث أعلى ضغط».

✓ **الصحيح:** يعتمد الضغط أساسًا على عدد الجسيمات، وليس على حجم الجزيء.

(د) الكسر المولي:

هو نسبة كمية كل غاز [mol] من الغازات المكونة للخليط إلى الكمية الكلية للغازات [mol].

- إذا كانت كمية مادة الغاز A هي n_A [mole] وكمية مادة الغاز B هي n_B [mole]، فإن الكسر المولي للغاز A في خليط من الغازين A وB هو $\frac{n_A}{(n_A + n_B)}$ والكسر المولي للغاز B هو $\frac{n_B}{(n_A + n_B)}$.
- يمكن التعبير عن الضغط الجزئي لكل غاز من الغازات المكونة للخليط الغازي كما يلي:

الضغط الجزئي = الضغط الكلي × الكسر المولي

بنية العلم

حقيقة أساسية:

يمكن التنبؤ بسلوك خليط غازي من خلال تحليل مساهمة كل غاز مكون من خلال نسبة المولية الضغط الجزئي له.

المفاهيم الأساسية:

- الضغط الكلي
- الضغط الجزئي
- الكسر المولي
- مخاليط الغازات
- متوسط الكتلة الجزيئية النسبية
- ضغط البخار
- الضغط الجوي

قانون دالتون للضغوط الجزئية.

(هـ) العلاقة بين الضغط الجزئي والحجم وكمية المادة:

- عند درجة حرارة وحجم ثابتين، فإن النسبة بين الضغوط الجزئية للغازات في الخليط تساوي النسبة بين كميات مادتها [mol].
- عند درجة حرارة وضغط ثابتين، عند استخلاص كل غاز من مكونات الخليط الغازي على حدة، فإن النسبة بين حجوم الغازات المكوِّنة للخليط تساوي النسبة بين كميات مادتها [mol].

(و) متوسط الكتلة الجزيئية النسبية:

الكتلة الجزيئية النسبية للخليط الغازي، بفرض أنه يتكوَّن من نوع واحد من الجزيئات، هي متوسط الكتلة الجزيئية النسبية. والتي تساوي (مجموع الكتلة الجزيئية النسبية × الكسر المولي) لمكونات الخليط.

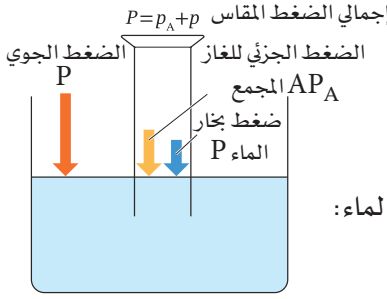
(ز) الضغط الجزئي لغاز مجمع فوق الماء:

الغاز المجمع فوق الماء يختلط ببخار الماء. عندما تتساوى مستويات الماء داخل وخارج وعاء التجميع، فإن الضغط الكلي للغاز المجمع يساوي الضغط الجوي.

كما هو موضَّح في الشكل 1.6.1، عندما يُجمع الغاز A فوق الماء:

الضغط الجوي = الضغط الكلي للغاز المجمع

= الضغط الجزئي للغاز A + ضغط بخار الماء.



شكل 1.6.1 قياس الضغط الجوي

ومن المعادلة السابقة:

الضغط الجزئي للغاز A = الضغط الجوي - ضغط بخار الماء.

صندوق المعادلات:

الكمية	العلاقة
قانون دالتون	$P = P_1 + P_2 + P_3$
الكسر المولي لـ A	$xA = nA / (nA + nB)$
الضغط الجزئي	الضغط الجزئي = الضغط الكلي × الكسر المولي
متوسط الكتلة الجزيئية النسبية	Σ (الكتلة الجزيئية النسبية × الكسر المولي)
غاز مجمع فوق الماء	الضغط الجزئي للغاز = الضغط الجوي - ضغط بخار الماء

اختبار الفرضيات (الاستقصاء العلمي):

الفرضية:

«إذا زادت كمية الغاز داخل وعاء ثابت الحجم، فإن ضغطه الجزئي سيزداد؛ لأن مزيدًا من الجسيمات تصطدم بجدران الوعاء».

المتغيرات:

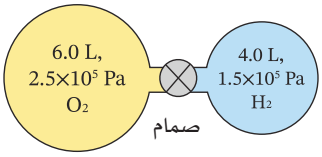
- المتغير المستقل: .....
- المتغير التابع: .....
- المتغيرات الثابتة (المتحكم بها): .....
- جمع الأدلة: .....

تصميم الاستقصاء (التحقيق العلمي): .....

مثال:

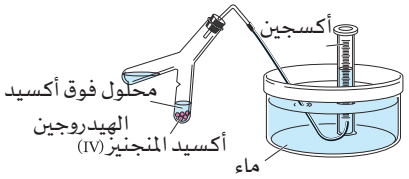
أجب عن الأسئلة التالية.

(أ) وعاء سعته 6.0 L يحتوى على غاز الأكسجين عند ضغط 2.5×10^5 pa، ووعاء سعة 4.0 L يحتوى على غاز الهيدروجين عند ضغط 1.5×10^5 pa، عند نفس درجة الحرارة.



• أوجد الضغط الجزئي للأكسجين والضغط الكلي في الوعاءين عندما يُوصل الوعاءان ببعضهما، ويُفتح الصمام، مع الحفاظ على نفس درجة الحرارة لفترة كافية من الزمن.

(ب) كما هو موضَّح في الشكل المقابل، جُمع غاز الأكسجين فوق الماء، وعندما تساوت مستويات الماء داخل وخارج الأسطوانة المدرَّجة، كان حجمه 0.83 L عند 2.5×10^5 Pa ودرجة حرارة 27°C



أجب عن الأسئلة التالية (لأقرب رقمين عشريين).

بفرض أن ثابت الغازات $R = 8.3 \times 10^3$ Pa.L / (K.mol)

(**i**) بافتراض أن ضغط البخار المشبع للماء عند 27°C هو 3.0×10^3 Pa، ما الضغط الجزئي للأكسجين المجمع [Pa]؟

(**ii**) أوجد كمية مادة الأكسجين المجمع.

الشرح

(أ) لحساب الضغط الجزئي للأكسجين، اعتبر الضغط عندما يشغل الأكسجين وحده نفس حجم الخليط الغازي. عندما يُوصل الوعاءان، يصبح حجم الخليط الغازي 10.0 L.

لذلك، إذا كان الضغط الجزئي للأكسجين هو P_A [Pa]، من قانون بويل $P_1V_1 = P_2V_2$:

$$2.5 \times 10^5 \text{ Pa} \times 6.0 \text{ L} = P_A \text{ [Pa]} \times 10.0\text{L}$$

$$P_A = 1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

بالمثل، إذا كان فالضغط الجزئي للهيدروجين هو P_B [Pa]، من قانون بويل:

$$1.5 \times 10^5 \text{ Pa} \times 4.0 \text{ L} = P_B \text{ [Pa]} \times 10.0\text{L}$$

$$P_B = 6.0 \times 10^4 \text{ Pa}$$

بما أن الضغط الكلي في الوعاء هو مجموع الضغطين الجزئيين:

$$P_A \text{ [Pa]} + P_B \text{ [Pa]} = 1.5 \times 10^5 \text{ Pa} + 6.0 \times 10^4 \text{ pa} = 2.1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

لذلك، الضغط الجزئي للأكسجين هو 1.5×10^5 Pa ، والضغط الكلي هو 2.1×10^5 Pa.

(ب) (i) إذا كان الضغط الجزئي للأكسجين هو Px [Pa].

الضغط الجزئي للأكسجين = الضغط الجوي – ضغط بخار الماء:

$$P_x = 1.03 \times 10^5 \text{ Pa} - 3.0 \times 10^3 \text{ Pa} = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

(ii) من معادلة الغاز المثالي $PV = nRT$:

$$1.0 \times 10^5 \text{ Pa x } 0.83 \text{ L} = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa.L /(K.mol)} \times (27 + 273) \text{ K}$$

$$n = 3.33 \times 10^{-2}$$

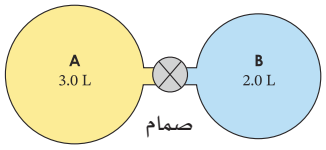
$$\approx 3.3 \times 10^{-2}$$

الإجابة: 3.3×10^{-2} mol

حاول بنفسك:

كما هو موضَّح في الشكل، عند وضع غاز النيتروجين (كتلته الجزيئية النسبية 28)

عند ضغط 2.0×10^5 Pa في وعاء A سعته 3.0 L، و غاز الهيدروجين (كتلته الجزيئية النسبية 2.0) عند ضغط 1.0×10^5 Pa في وعاء B سعته 2.0 L. عند فتح الصمام لخلط الغازين. مع الحفاظ على درجة الحرارة ثابتة طوال الوقت. أجب عن الأسئلة التالية المتعلقة بالخليط الغازي بدقة. (لأقرب رقمين عشريين).



(أ) ما الضغط الجزئي للنيتروجين [Pa]؟

الإجابة: .....

(ب) ما الضغط الكلي [Pa]؟

الإجابة: .....

(جـ) ما الكسر المولي لكل غاز؟

الإجابة: .....

(د) ما متوسط الكتلة الجزيئية النسبية للخليط؟

الإجابة: .....

أجب بدقة (لأقرب رقمين عشريين)

عند جمع غاز الهيدروجين فوق الماء، وعندما تساوت مستويات الماء داخل وخارج المخبار المدرَّج، حصلنا على 498 mL من الغاز عند 1.04×10^5 Pa و 27°C.

ما كمية مادة الهيدروجين التي تم جمعها [mol]؟

أجب بدقة (رقمين عشريين). بفرض أن ثابت الغازات $R = 8.3 \times 10^3$ Pa.L/(K.mol)

وأن ضغط بخار الماء عند 27°C هو 4.0×10^3 Pa

تدرب:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. عينة من غاز الهيدروجين مجمعة فوق الماء. الضغط الجوي 101 kPa وضغط بخار الماء 3 kPa ما الضغط الجزئي للهيدروجين؟

(أ) 98 kPa (ب) 101 kPa (جـ) 104 kPa (د) 3 kPa

الإجابة: .....

٢. يدَّعى طالب أن زيادة كمية النيتروجين في خليط ستزيد الضغط الجزئي للأكسجين. أي عبارة تقيِّم هذا الادِّعاء بشكل أفضل؟

(أ) صحيح؛ لأن جميع الضغوط الجزئية تزداد معًا.

(ب) صحيح؛ لأن الضغط الكلي يبقى ثابتًا لكن الكتلة المولية تزداد.

(جـ) غير صحيح؛ لأن الضغط الجزئي للأكسجين يعتمد على كسره المولي الخاص.

(د) غير صحيح؛ لأن النيتروجين لا يساهم في الضغط.

الإجابة: .....

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيري.

.....

✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته.

.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في الاستكشافه.

.....

٣. أجب عن الأسئلة التالية (لأقرب رقمين عشريين).

مع الحفاظ على نفس درجة الحرارة، وُضع الغاز A عند 6.0×10^4 Pa بحجم 250 mL، والغاز B عند 4.0×10^4 Pa بحجم 150 mL في وعاء سعته 500 mL.

(أ) أجب عن الأسئلة التالية:

(i) أوجد الضغط الجزئي للغاز A.

.....

(ii) أوجد الضغط الجزئي للغاز B.

.....

(iii) أوجد الضغط الكلي للخليط الغازي.

.....

(ب) عند درجة حرارة ثابتة، عندما يكون ضغط خليط غازي من 4.8 g من الميثان CH_4 و 2.8 g من أول أكسيد الكربون CO هو 1.0×10^5 Pa ، ما الضغط الجزئي للميثان [Pa]؟

(H = 1.0 , C = 12 , O = 16)

.....

٤. يحضر غاز الأكسجين بإضافة أكسيد المنجنيز (IV) إلى محلول فوق أكسيد الهيدروجين، وجُمع بأسطوانة مدرَّجة فوق الماء تحت ضغط جوي قدره 1.0×10^5 Pa عند 27°C. عندما تساوت مستويات الماء داخل وخارج الأسطوانة المدرَّجة، كان حجم الغاز المجمع 700 mL. أوجد كمية مادة الأكسجين الذي تم تحضيره في هذا الوقت بدقة لأقرب رقمين عشريين. افترض أن ضغط البخار المشبع للماء عند 27°C هو 3.6×10^3 Pa وثابت الغازات هو 8.3×10^3 Pa.L/(K.mol)

.....

فكر بشكل نقدي: يحلِّل عالِم ضغط الهواء من موقعين مختلفين:

الموقع A: منطقة جبلية مرتفعة.

الموقع B: مستوى سطح البحر.

تحتوي العينتان على أكسجين ونيتروجين.

١. إذا كانت نسبة الأكسجين متقاربة تقريبًا في كلا الموقعين، لكن الضغط الكلي مختلف. لماذا يتغيَّر الضغط الجزئي للأكسجين؟

.....

٢. إذا بقيت كمية الأكسجين ثابتة لكن أُضيف نيتروجين، ماذا يحدث لكل من.....؟

- الضغط الكلي.

.....

- الضغط الجزئي للأكسجين.

.....

١-٧ — الغاز المثالي والغاز الحقيقي

مقدمة

هل لاحظت أنه عند ترك بالون في طقس بارد يصبح أصغر حجما ، لكن عند وضعه في ضوء الشمس يتمدد مرة أخرى. لنستكشف لماذا يتصرف الغاز بداخله بشكل مختلف عندما تتغيَّر درجة الحرارة.

؟ سؤال توجيهي: لماذا يختلف سلوك الغازات الحقيقية عن سلوك الغاز المثالي، وكيف يمكن للعلماء تفسير هذه الاختلافات؟

الاستكشاف

تأمَّل المواقف التالية:

- غاز مخزَّن في أسطوانة غوص عند ضغط مرتفع للغاية.
- نيتروجين سائل يسخن ببطء إلى درجة حرارة الغرفة.
- ثاني أكسيد الكربون تحت ضغط عالٍ في طفاية حريق.
- غاز طبيعي يُنقل عبر أنابيب طويلة.

ناقش:

- هل تتوقع أن تسلك الغازات سلوكًا مثاليًّا في هذه المواقف؟

.....

- أي الظروف قد تسبب اختلافات؟

.....

- ما الدليل الذي يساعدك على اختبار توقعك؟

.....

تعلم

المعادلة $PV = nRT$ في حالة الغاز المثالي، لا تصف جميع الغازات بشكل مثالي. تختلف الغازات الحقيقية في سلوكها عن السلوك المثالي بسبب الحجم المحدود لجزيئاتها وقوى التجاذب بين الجزيئات.

(أ) تعريف الغاز المثالي والغاز الحقيقي:

– **الغاز المثالي:** نموذج افتراضي يُفترض لتبسيط الحسابات.

١. حجم جزيئات الغاز نفسها يساوي صفرًا.

٢. لا توجد قوى تجاذب بين الجزيئات.

– **الغاز الحقيقي:** الغازات الموجودة فعليًّا، مثل الهيدروجين أو النيتروجين.

١. تمتلك الجزيئات حجمًا صغيرًا محدودًا.

٢. يوجد قوى تجاذب (بين جزيئية) بين الجزيئات.

(ب) لماذا تحدث الاختلافات؟

يُقاس انحراف الغاز الحقيقي عن السلوك المثالي بواسطة معامل الانضغاط (Z):

$$Z = \frac{VP}{nRT}$$

بنية العلم

حقيقة أساسية:

الغاز المثالي هو نموذج مبسط تفتقر فيه جزيئات الغاز إلى الحجم ولا تخضع لقوى بين الجزيئات.

المفاهيم الأساسية:

- الغاز المثالي.
- الغاز الحقيقي.
- القوى بين الجزيئات.
- الحجم الجزيئي.
- معامل الانضغاط (Z)

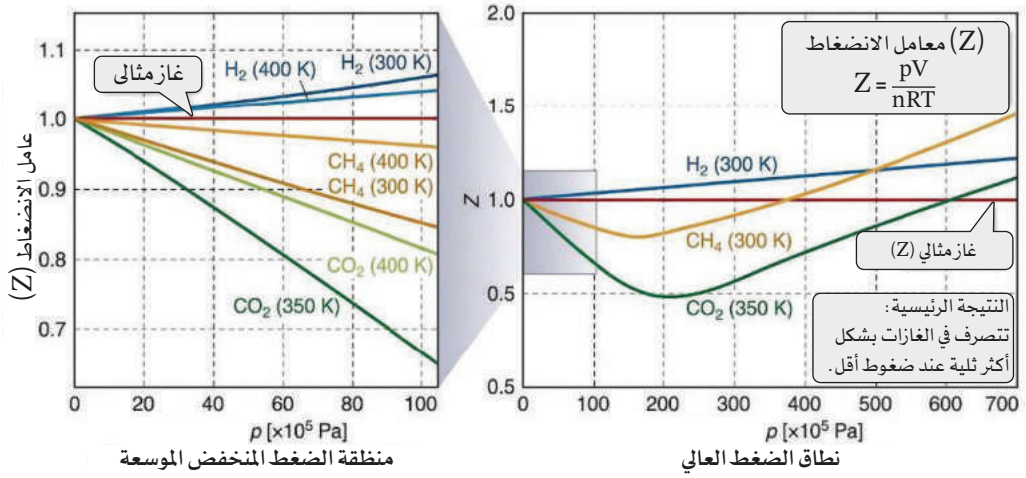
المبادئ العلمية:

تقل قوى الجذب بين الجزيئات من الضغط الملاحظ؛ ويصبح الحجم الجزيئي المحدود مهمًّا عند الضغوط العالية.

بالنسبة للغاز المثالي، تكون قيمة Z دائمًا مساوية لـ 1. أما بالنسبة للغاز الحقيقي، فتتغيُّر قيمة Z باختلاف **الضغط ودرجة الحرارة**. ويرتبط هذا التغيُّر بعاملين فيزيائيين:

(i) **عندما تؤثر قوى تجاذب بين الجزيئات**، تضعف القوة التى تصطدم بها الجزيئات بجدران الوعاء. ونتيجة لذلك، **يكون الضغط المُلاحَظ P أقل من الضغط المتوقَّع للحالة المثالية.** يبرز هذا التأثير في ظروف **الضغط المعتدل** (حيث تكون الجزيئات أقرب إلى بعضها) ودرجة الحرارة المنخفضة، مما يجعل Z أقل من 1.

(ii) **تأثير الحجم الجزيئى (سبب جعل Z > 1):** عند الضغوط المرتفعة جدًّا، **لم يعد حجم الجزيئات نفسها مهملًا** مقارنة بالحجم الكلي V للغاز. وبما أن الحجم **الحر المتاح للحركة الجزيئية ينخفض فعليًّا**، فيصبح من الصعب ضغط الغاز بشكل أكبر. وبالتالي، يكون الحجم المُلاحَظ V أكبر من القيمة المثالية المحسوبة، وتتجاوز Z قيمة 1 بشكل ملحوظ تحت هذه الظروف.



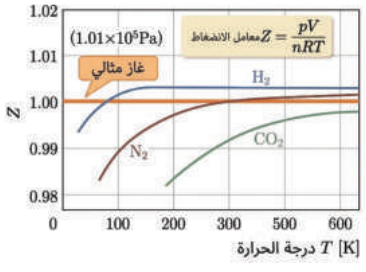
(جـ) الظروف التى تقرِّب سلوك الغاز الحقيقي من السلوك المثالي:

(i) **تأثير الضغط:**

عندما يُضغط غاز حقيقي، فإن زيادة الضغط تؤدي إلى زيادة عدد الجزيئات في وحدة الحجم، وبالتالى تصبح نسبة الحجم الذى تشغله الجزيئات نفسها كبيرة. وبسبب تأثير هذا الحجم الجزيئي، يصبح الحجم الفعلي للغاز أكبر من حجم الغاز المثالي.

عندما ينخفض الضغط، ينخفض عدد الجزيئات في وحدة الحجم. وهذا يقلِّل من تأثير الحجم الجزيئي، مما يجعل الغاز الحقيقى يقترب من السلوك المثالي.

(ii) **تأثير درجة الحرارة:**



عندما تنخفض درجة حرارة غاز حقيقي، تقل الحركة الحرارية لجزيئاته، ويزداد تأثير قوى التجاذب بين الجزيئات.

ويؤدى هذا إلى أن يكون الضغط الفعلى للغاز أقل من ضغط الغاز المثالي.

وعلى العكس، فإن رفع درجة الحرارة يزيد من الطاقة الحركية (الحركة الحرارية) للجزيئات، مما يقلِّل من تأثير القوى بين الجزيئية، ويجعل الغاز الحقيقي يقترب من السلوك المثالي. لذلك، يمكن معاملة الغاز الحقيقي كغاز مثالي في ظروف درجة الحرارة العالية والضغط المنخفض.

مهارات قراءة الرسم البيانى

قراءة الرسم البياني لعامل الانضغاط قبل قراءة الشرح:

- أين تكون قيمة Z تساوي 1؟ .....
- أين تكون قيمة Z أقل 1؟ .....
- أين تكون قيمة Z أكبر 1؟ .....
- أي منطقة تشير إلى قوة أكبر للتجاذب بين الجزيئات؟ .....
- أي منطقة تشير إلى تأثير حجم الجزيء؟ .....
- تحليل الرسم البياني استخدم البيانات من الرسم البيانى لإثبات إجابتك. .....

فكّر كمهندس:

المهندسون الذين يصممون:

- خزانات الغاز الصناعية.
- أنظمة الغوص في أعماق البحار.
- أنظمة وقود المركبات الفضائية.

لا يمكنهم افتراض أن الغاز يتصرف كغاز مثالي في جميع الظروف. وقد يؤدي تجاهل تأثيرات الغازات الحقيقية إلى تنبؤات غير دقيقة وتصميمات غير آمنة.

لماذا يُعدُّ فهم حدود النماذج العلمية مهمًّا في الهندسة؟

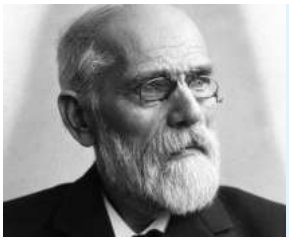
.....

.....

(د) [متقدم] نموذج أكثر دقة: معادلة فاندرفالز للحالة :

طُوِّرت معادلة فاندرفالز للحالة لتفسير انحرافات الغازات الحقيقية عن سلوك الغاز المثالي. حيث تضيف المعادلة معامل تصحيح لقوى التجاذب بين الجزيئات ويرمز لها بالرمز (a)، معامل تصحيح لحجم الجزئ ويرمز له بالرمز (b).

$$(P + a\frac{n^2}{V^2})(V - nb) = nRT$$



تقدير العلماء

بينما استخدم كثير من العلماء نموذج الغاز المثالي بنجاح، أدرك جوهانس ديدريك فاندرفالز أن الغازات الحقيقية تمتلك حجمًا جزيئيًّا وقوى تجاذب بين جزيئية. أدَّى عمله إلى تطوير معادلة حالة أكثر واقعية، وغيّر فهمنا للمادة.

(هـ) الغاز المثالي ومعادلة الغاز المثالي:

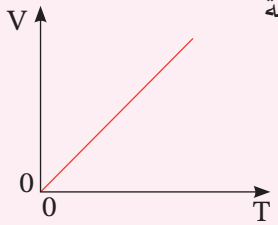
بالنسبة للغاز المثالي، وبما أن المعادلة $PV = nRT$ تطبق على الغاز المثالي، فيمكن تحديد العلاقة بين الضغط والحجم وكمية المادة ودرجة الحرارة.

مثال (١): العلاقة بين الحجم ودرجة الحرارة عندما يكون ضغط كمية معيَّنة من الغاز ثابتةً في المعادلة $PV = nRT$،

يمكن اعتبار P وn ثابتين.

بحل المعادلة $V = n\frac{R}{P}T$

لذلك، الحجم V يتناسب طرديًّا مع درجة الحرارة T.

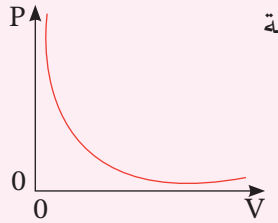


مثال (٢): العلاقة بين الحجم والضغط عندما تكون درجة حرارة كمية معيَّنة من الغاز ثابتة في المعادلة $PV = nRT$،

يمكن اعتبار n وT ثابتين.

بحل المعادلة $V = \frac{nRT}{P}$

لذلك، الحجم V يتناسب عكسيًّا مع الضغط P.

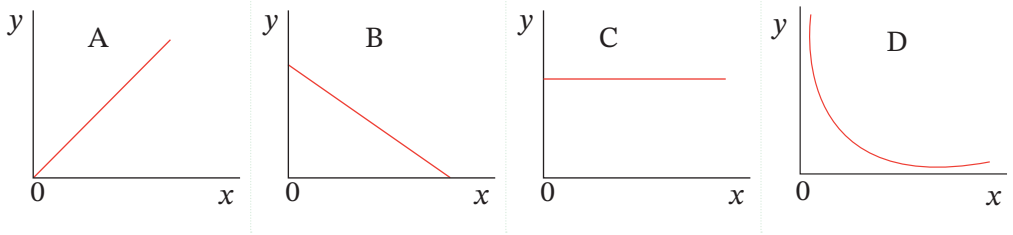


صندوق المعادلات:

الكمية	المعنى
$Z = PV / nRT$	معامل الانضغاط $Z = 1$ للغاز المثالى
$Z < 1$	القوى بين الجزيئات هي المؤثرة (ضغط معتدل، درجة حرارة منخفضة)
$Z > 1$	الحجم الجزيئى هو المؤثر (ضغط مرتفع جدًّا)
فاندرفالز	$(P + n^2a/V^2)(V - nb) = nRT$
الظروف القريبة من المثالية	درجة حرارة عالية وضغط منخفض

مثال:

بالنسبة للغاز المثالي، اختر الرسم البيانى (من A إلى D) الذى يمثِّل كل علاقة من (أ) إلى (ج).



(أ) العلاقة بين الحجم x والضغط y عندما تكون كمية المادة ودرجة حرارة الغاز ثابتتين.

.....

(ب) العلاقة بين كمية المادة x والضغط y عندما تكون درجة الحرارة والحجم ثابتتين.

.....

(جـ) العلاقة بين الضغط x وحاصل ضرب الضغط والحجم y عندما تكون كمية المادة ودرجة حرارة الغاز ثابتتين.

.....

الشرح

بإعادة ترتيب معادلة الغاز المثالى: $PV = nRT$

(أ) بحل معادلة الغاز المثالى للضغط للحصول على معادلة بدلالة y : $P = \frac{nRT}{V}$

عندما تكون كمية المادة ودرجة حرارة الغاز ثابتتين، يكون nRT ثابتًا، لذا يتناسب الضغط P عكسيًّا مع الحجم V. لذلك، الرسم البياني الذي يمثِّل العلاقة بين x و y هو D.

(ب) بحل معادلة الغاز المثالي للضغط: $P = \frac{nRT}{V}$ عندما تكون درجة الحرارة والحجم ثابتتين،

فإن $\frac{RT}{V}$ ثابت، لذا تتناسب كمية المادة n طرديًّا مع الضغط P.

لذلك، الرسم البياني الذي يمثِّل العلاقة بين x و y هو A.

(جـ) عندما تكون كمية المادة ودرجة حرارة الغاز ثابتتين، يبقى الطرف الأيمن من $PV = nRT$ ثابتًا. والطرف الأيسر PV هو y.

بغضِّ النظر عن قيمة الضغط P، يظل حاصل ضرب الضغط والحجم PV ثابتًا دائمًا، لذا فالرسم البياني الذى يمثِّل العلاقة بين x و y هو C.

حاول بنفسك:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. أي عبارة تصف الغاز المثالي بشكل صحيح:

(أ) جزيئات الغاز لها حجم محدد وقوى تجاذب.

(ب) جزيئات الغاز لها حجم = صفر ولا توجد قوي تجاذب بين جزيئية.

(جـ) جزيئات الغاز لها حجم كبير لكن دون قوي تجاذب.

(د) جزيئات الغاز تشغل نصف حجم الوعاء.

الإجابة: .....

٢. تحت أي الظروف التالية يتصرف الغاز الحقيقي أقرب ما يكون إلي الغاز المثالي

(أ) درجة حرارة منخفضة وضغط مرتفع.

(ب) درجة حرارة مرتفعة وضغط منخفض.

(جـ) درجة حرارة منخفضة وضغط منخفض.

(د) درجة حرارة مرتفعة وضغط مرتفع.

الإجابة: .....

٣. اختر العبارات الصحيحة من (i) إلى (iv) التالية، فيما يتعلق بالغازات المثالية والغازات الحقيقية:

(i) «غاز لا تمتلك فيه الجزيئات أى حجم، وتتحرك بحرية دون وجود قوى بين جزيئية تؤثر عليها» هو غاز حقيقي.

(ii) بالنسبة للغاز الحقيقي، تنطبق معادلة الغاز المثالي بدقة تامة عند أي درجة حرارة وحجم وضغط.

(iii) مع ارتفاع درجة الحرارة، يصبح انحراف الغاز الحقيقي عن الغاز المثالي أقل.

(iv) عند مقارنة الهيدروجين عند 300 K و 1.0×10^5 Pa بالهيدروجين عند 350 K و 4.0×10^4 Pa، يكون الهيدروجين عند 300 K و 1.0×10^5 Pa أقرب إلي الغاز المثالي.

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:

بالنسبة للغاز المثالي، اختر الرسم البيانى (من A إلى E) الذى يمثِّل كل علاقة من (أ) إلى (هـ).

يمكنك اختيار نفس الحرف عدة مرات:

(أ) العلاقة بين كمية المادة x وحجم الغاز y عندما تكون درجة الحرارة والضغط ثابتين.

(ب) العلاقة بين درجة الحرارة المطلقة x وحجم الغاز y عندما تكون كمية المادة والضغط ثابتين.

(جـ) العلاقة بين درجة الحرارة المطلقة x وضغط الغاز y عندما تكون كمية المادة والحجم ثابتين.

طبيعة العلم

المعرفة العلمية تتطور بمرور الوقت.

وعندما لم يعد من الممكن تفسير الملاحظات تفسيرًا كاملًا بواسطة نموذج الغاز المثالي، طور العلماء نماذج مطورة مثل معادلة فاندرفالز.

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيري

.....

✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته

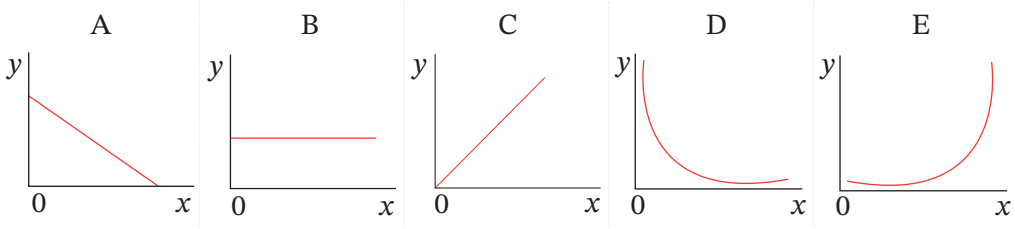
.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في الاستكشافه

.....

(د) العلاقة بين الضغط x وحجم الغاز y عندما تكون كمية المادة ودرجة الحرارة ثابتتين.

(هـ) العلاقة بين الضغط x وحاصل ضرب الضغط والحجم y عندما تكون كمية المادة ودرجة الحرارة ثابتتين.



تحدَّ تفكيرك:

غاز حقيقي تم ضغطه ضغط مرتفع بينما ظلت درجة حرارته مرتفعة:

تنبأ:

- هل سيتصرف الغاز بشكل أقرب للمثالية أم أبعد عنها؟

.....

- **أي عامل من المرجَّح أن يؤثر:** القوى بين الجزيئات أم الحجم الجزيئي؟

.....

- هل من المرجَّح أن تكون Z أكبر من 1، أم أقل من 1، أم تساو 1؟

.....

فسر إجابتك: باستخدام التفكير في مستوى الجسيمات والأدلة من الدرس.

.....

٨-١ — خصائص المحاليل

مقدمة

عِنْدَ رَجِّ طالب زجاجة تحتوي على ماء وزيت طهي بقوة لفترة قصيرة يبدو السائلان ممتزجين، لكن بعد بضع دقائق تنفصل مرة أخرى. يفترض كثير من الناس أن الرج لفترة أطول سيبقيهما ممتزجين.

لنستكشف كيف تذوب المواد، وما العوامل التي تحدِّد ما إذا كانت ستبقى ذائبة أو تنفصل عن المحلول.

سؤال توجيهي: لماذا تذوب بعض المواد بسهولة بينما لا تذوب أخرى؟ وكيف يمكن للعلماء التنبؤ بالذوبانية والتحكم فيها؟

الاستكشاف

توقَّع قبل أن تتعلَّم

دون إجراء تجربة، توقّع ماذا سيحدث إذا أضفت المواد التالية إلى الماء:

- ملح الطعام
- السكر
- الزيت النباتي
- شمع البرافين

لكل مادة:

- هل ستذوب؟ .....
- لماذا تعتقد ذلك؟ .....
- ما دليلك على توقعك؟ .....

تعلم

١. الذوبان

(أ) **الذوبان:** هي ظاهرة انتشار مادة بشكل متجانس في مذيب.

(ب) **البلورات الأيونية والذوبان:**

البلورات الأيونية تذوب بسهولة في الماء وتكون غير قابلة للذوبان إلى حد كبير في المذيبات غير القطبية.

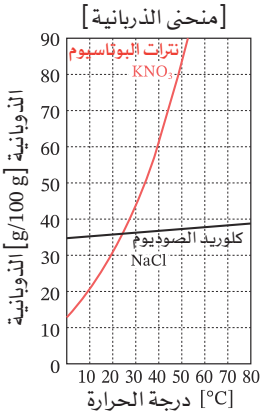
(جـ) **القطبية والذوبان:** المواد ذات القطبية المتشابهة تميل إلى الذوبان في بعضها البعض.

- الجزيئات القطبية تذوب بسهولة في المذيبات القطبية (لأن الشحنات الموجبة والسالبة تتجاذب مع بعضها).
- الجزيئات غير القطبية تذوب بسهولة في المذيبات غير القطبية.
- المواد المكوَّنة من جزيئات قطبية وجزيئات غير قطبية لا تذوب بسهولة في بعضها البعض.

(د) **الذوبانية:**

هي أقصى كمية من المذاب التي تذوب في كمية معيَّنة من المذيب. وفي حالة المواد الصلبة، غالبًا ما يُعبَّر عنها بالكتلة القصوى للمذاب التي تذوب في 100 gm من المذيب.

(هـ) **منحنى الذوبانية:** منحنى يوضح العلاقة بين الذوبانية والتغير في درجة الحرارة (الشكل 1.8.1).



الشكل 1.8.1 : منحنى الذوبانية

(و) **إعادة التبلور:**

استخلاص (ترسيب) مادة مذابة على شكل بلورات صلبة بالاعتماد على اختلاف الذوبانية الناتج باختلاف درجة الحرارة.

بنية العلم

حقيقة أساسية:

- تعتمد قابلية ذوبان أي مادة على طبيعة المادة المذابة والمذيب.
- المواد ذات القطبية المتشابهة تميل إلى الذوبان في بعضها البعض.

المفاهيم الأساسية:

- الذوبان
- القابلية للذوبان
- المذيب والمذاب
- القطبية
- البلورات الأيونية
- التركيز
- المولارية
- المولالية
- إعادة التبلور

القانون العلمي:

قانون هنري قابلية الغاز للذوبان $\propto$ ضغط الغاز

٢. التركيز

(أ) النسبة المئوية الكتلية (بالكتلة):

تعبِّر عن التركيز بنسبة كتلة المذاب إلى كتلة المحلول.

$$\text{النسبة المئوية بالكتلة } (\%) = \frac{\text{كتلة المذاب g}}{\text{كتلة المحلول g}} \times 100$$

(ب) المولارية (التركيز المولاري):

تعبر عن التركيز بكمية المادة المذابة (بالمول mol) في لتر (1L) من المحلول.

$$\text{المولارية } [\text{mol/L}] = \frac{\text{كمية المادة المذابة (Mole)}}{\text{حجم المحلول (Liter)}}$$

(جـ) المولالية (التركيز المولالي):

يعبَّر عن التركيز بكمية المادة المذابة (mole) المذاب في 1 كجم (1 kg) من المذيب.

$$\text{المولالية } [\text{Mol/Kg}] = \frac{\text{كمية المادة المذابة (Mol)}}{\text{كتلة المحلول (Kg)}}$$

مثال: مولالية محلول مائي يذوب فيه 2.0 g من هيدروكسيد الصوديوم في 23.0 g من الماء

(NaOH = 40)

$$\text{كمية هيدروكسيد الصوديوم المذابة} = \frac{2.0\text{ g}}{40\text{ g/mol}} = 0.050\text{ mol}$$

بما أن كتلة الماء $= 23.0\text{ g} = 0.023\text{ Kg}$، فإن المولالية $= \frac{0.050\text{ mol}}{0.023\text{ Kg}} = 2.17 \approx 2.2\text{ mol/Kg}$

٣. ذوبانية الغازات

قانون هنري:

عند ثبات درجة الحرارة، تتناسب كمية وكتلة الغاز الذي يذوب في كمية معيّنة من المذيب تناسبًا طرديًّا مع ضغط الغاز.

- عند دراسة ذوبانية الغاز، يُستخدم قانون هنري.

صندوق المعادلات

التركيز	التعريف
النسبة المئوية بالكتلة [%]	(كتلة المذاب / كتلة المحلول) × 100
المولارية [Mol/L]	كمية المذاب [Mole] / حجم المحلول [Liter]
المولالية [Mol/Kg]	كمية المذاب [Mole] / كتلة المذيب [Kg]
قانون هنري	الكمية الذائبة (gram or Mole) ∝ ضغط الغاز

الكيمياء في حياتنا اليومية:

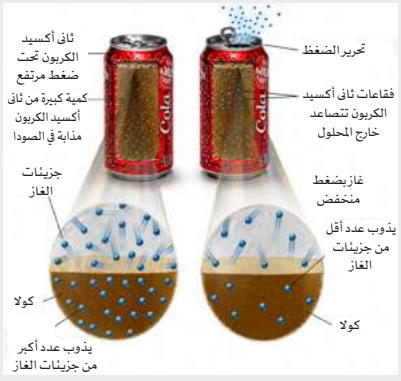
لماذا تفور المشروبات الغازية؟

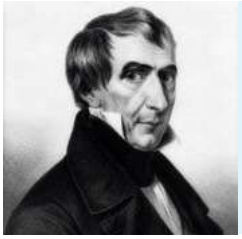
تحتوي المشروبات الغازية على ثاني أكسيد الكربون المذاب تحت ضغط مرتفع.

عند فتح الزجاجة:

- ينخفض الضغط.
- تنخفض ذوبانية الغاز.
- يخرج ثاني أكسيد الكربون على شكل فقاعات.

هذا تطبيق مباشر لقانون هنري.





تقدير العلماء

اكتشف ويليام هنري علاقة مهمة بين ضغط الغاز وذوبانيته ولا يزال عمله يؤثر على العلوم البيئية والطب والصناعة حتى اليوم.

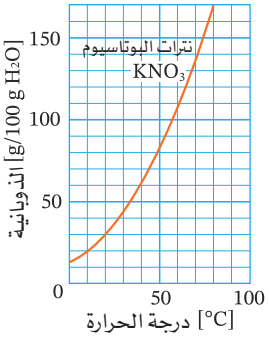
مثال:

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) اختر مما يلي المواد التي تذوب في الماء ولا تذوب إلى حد كبير في الهكسان:

١. النفثالين ٢. الجلوكوز ٣. كلوريد البوتاسيوم.

(ب) الشكل المقابل يعبر عن الذوبانية لنترات البوتاسيوم KNO_3.



أجب عن الأسئلة التالية:

(i) عندما يُبرَّد محلول مائي مشبع بنترات البوتاسيوم في 50 g من الماء عند 50°C إلى 20°C، كم جرامًا من البلورات ستترسب؟

(ii) عندما يُبرَّد 100 g من محلول مائي مشبع بنترات البوتاسيوم عند 60°C إلى 20°C، كم جرامًا من البلورات ستترسب؟

(جـ) عند درجة حرارة 20°C وضغط 1.0×10^5 Pa، يذوب 125 mL من الأكسجين في 1.0 L من الماء، علمًا بأن حجم الغاز محسوبًا عند درجة حرارة 0°C و ضغط 1.0×10^5 Pa ما كتلة الأكسجين (gm) التي تذوب في 1.5 L من الماء عند درجة حرارة 20°C و ضغط 2.0×10^5 Pa؟

بفرض أن حجم 1 mole من الغاز عند 0°C و 1.0×10^5 Pa هو 22.4 L (O = 16).

الشرح

(أ) الماء مذيب قطبي، والهكسان مذيب غير قطبي.

١. بما أن النفثالين جزيء غير قطبي، فهو غير قابل للذوبان إلى حد كبير في الماء ويذوب بسهولة في الهكسان.

٢. بما أن الجلوكوز جزيء قطبي، فهو يذوب بسهولة في الماء وغير قابل للذوبان إلى حد كبير في الهكسان.

٣. بما أن كلوريد البوتاسيوم بلورة أيونية، فهو يذوب بسهولة في الماء وغير قابل للذوبان إلى حد كبير في الهكسان.

الإجابة هي 2 و3.

(ب) (i) من الشكل، يذوب 84 g من نترات البوتاسيوم في 100 g من الماء عند 50°C، لذا يذوب 42 g في 50 g من الماء.

كذلك، يذوب 30 g في 100g من الماء عند 20°C، لذا يذوب 15g في 50g من الماء. لذلك، كتلة البلورات التي تترسب هي: 42 − 15 = 27g

(ii) من الشكل، 108 g من نترات البوتاسيوم تذوب في 100 g من الماء عند 60°C ليكون محلولًا مشبعًا.

كتلة هذا المحلول هي: 108g + 100g = 208g

عندما يُبرَّد هذا المحلول إلى 20°C، تكون كتلة الراسب: 108 g − 30 g = 78 g

كن مواطنًا عالميًا

إن فهم الذوبان يساعد في مواجهة التحديات العالمية مثل تنقية المياه، وحماية المحيطات، والزراعة المستدامة، والحد من التلوث. توفر الكيمياء الأدوات اللازمة لاتخاذ قرارات مستنيرة بشأن الموارد وإدارة البيئة.

بفرض أن (x) هي كتلة الراسب المتكوّن من 100 g من المحلول المشبع. يمكننا استخدام النسبة كالتالي:

$$100\ g : X\ [g] = 208\ g : 78\ g$$

الإجابة: $X = 37.5 \approx 38\ g$

(جـ) بما أن الضغط والحجم فقط للغاز الذائب معلومان، احسب أولًا عدد مولات الغاز لتطبيق قانون هنري.

عند 20°C و 1.0×10^5 Pa، يشغل 1 mole من الغاز 22.4 L. بفرض أن x عدد مولات 125 mL (0.125) من الأكسجين:

$$1\ mole : 22.4\ L = x[mol] : 0.125\ L$$

$$X = 5.580 \times 10^{-3} \approx 5.58 \times 10^{-3}\ mol$$

وفقًا لقانون هنري، عند ثبات درجة الحرارة تتناسب ذوبانية الغاز طرديًّا مع ضغطه الجزئي. لتكن y عدد مولات الأكسجين الذائبة في 1.0 L من الماء عند 20 °C و 2.0×10^5 Pa:

$$1.0 \times 10^5\ Pa : 5.58 \times 10^{-3}\ mol = 2.0 \times 10^5\ Pa : y[mole]$$

$$Y = 1.11 \times 10^{-2}\ mol$$

بفرض أن z عدد مولات الأكسجين الذائبة في 1.5 L من الماء:

$$1.0\ L : 1.11 \times 10^{-2}\ mol = 1.5\ L : z\ [mole]$$

$$Z = 1.66 \times 1 \times 0^{-2}\ mole$$

لذلك، كتلة الأكسجين المطلوبة هي:

$$1.66 \times 10^{-2}\ mol \times 32\ g/mol = 0.531\ g \approx 0.53\ g$$

حاول بنفسك:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. يذوب الجلوكوز بسهولة في الماء لكنه غير قابل للذوبان إلى حد كبير في الهكسان. أي مما يلي يفسر شكل بشكل أفضل؟

(أ) الجلوكوز والماء غير قطبيين.

(ب) الماء والجلوكوز لهما قطبية متشابهة.

(جـ) الهكسان والماء يكوّنان مذيبًا أيونيًّا.

(د) الماء يحتوي على أيونات.

الإجابة: .....

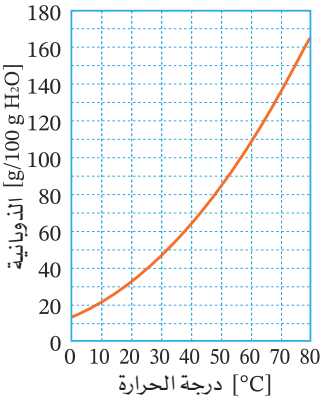
٢. عندما برَّد طالب محلولًا مشبعًا بنترات البوتاسيوم لاحظ تكوُّن بلورات. أي مما يلي يعبر عن العملية التي تحدث؟

(أ) تعادل (ب) تسامٍ (جـ) إعادة تبلور (د) تأيُّن

الإجابة: .....

٣. أجب عن الأسئلة التالية:

يوضِّح الشكل المقابل العلاقة بين ذوبانية نترات البوتاسيوم KNO_3 ودرجة الحرارة.



أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) كم جرامًا من نترات البوتاسيوم يمكن أن يذوب في 500 g من الماء عند 50 °C؟ (أجب لأقرب رقمين عشريين)

.....

(ب) عندما يُبرَّد محلولًا يحتوي على 80 g من نترات البوتاسيوم المذابة في 100 g من الماء عند 60°C إلى 20°C كم جرامًا من بلورات نترات البوتاسيوم يمكن الحصول عليها؟

(أجب لأقرب رقمين عشريين)

.....

(جـ) عندما يُبرَّد محلول يحتوي على 10 g من لنترات البوتاسيوم المذابة في 50 g من الماء عند 30 °C، عند أي درجة حرارة تبدأ البلورات بالترسيب؟

.....

(د) عندما يُبرَّد 100 g من محلول مشبع لنترات البوتاسيوم عند 50 °C إلى 20 °C، كم جرامًا من بلورات نترات البوتاسيوم يمكن الحصول عليها؟ (أجب لأقرب رقمين عشريين)

.....

استقصاء تجريبي:

أي المواد التالية تذوب بدرجة أكبر في الماء، وأي مادة تذوب بدرجة أكبر في مذيب غير قطبي؟

المواد:

- ماء
- زيت نباتي
- ملح
- سكر
- برادة شمع الشموع

.....

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. من (i) إلى (iii)، اختر جميع المواد التي تذوب في الهكسان ولا تذوب في الماء.

(i) نترات البوتاسيوم

(ii) كلوريد الهيدروجين

(iii) النفثالين

الإجابة: .....

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيري.

.....

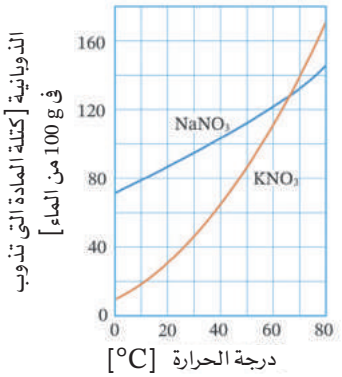
✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته.

.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في الاستكشافه.

.....

٢. يوضّح الشكل العلاقة بين ذوبانية KNO_3 و $NaNO_3$ و درجة الحرارة:



(أ) كم جرامًا من نترات البوتاسيوم تلزم لتشبع 50 g من الماء عند 70 °C؟

(أجب لأقرب رقمين عشريين)

.....

(ب) عندما يُبرَّد محلول من (أ) إلى 20 °C، كم جرامًا من نترات البوتاسيوم ستترسب؟

(أجب لأقرب رقمين عشريين)

.....

(جـ) أُذيب 50 g من نترات الصوديوم و 20 g من نترات البوتاسيوم في 50 g من الماء عند 80 °C. عندما يُبرَّد هذا المحلول، أي المادتين تترسب أولًا؟ (أجب بصيغتها الكيميائية)

الإجابة: .....

تحدَّ تفكيرك:

يهبط غواص إلى عمق كبير حيث يكون الضغط أعلى بكثير منه عند السطح.

دون إجراء حسابات:

- توقَّع ماذا يحدث لكمية النيتروجين الذائبة في دم الغواص.

.....

- توقَّع ما قد يحدث إذا صعد الغواص بسرعة كبيرة.

.....

- اشرح تفسيرك باستخدام قانون هنري.

.....

٩-١ — ارتفاع درجة الغليان وانخفاض درجة التجمد

مقدمة:

خلال فصل الشتاء، قد تتجمد البحيرات في المناطق الباردة بينما تبقى مياه البحر القريبة سائلة عند نفس درجة الحرارة. كلاهما يحتوي على الماء، ومع ذلك يتصرفان بشكل مختلف. اكتشف العلماء أن المواد المذابة يمكن أن تغيّر درجات الحرارة التي تتجمد وتغلي عندها السوائل – بما لها من نتائج مهمة على المحيطات والمناخ وحفظ الأغذية والعديد من العمليات الصناعية.

سؤال توجيهي: كيف يمكن للجسيمات المذابة أن تغيّر درجة الحرارة التي يغلى أو يتجمد عندها السائل؟

الاستكشاف

تخيَّل إضافة كميات متزايدة من الملح إلى الماء. و توقّع ما سيحدث لكل من:

- درجة الغليان.
- درجة التجمد.
- الضغط البخاري.

اشرح تفكيرك قبل النظر إلى الرسوم البيانية.

.....

تعلم

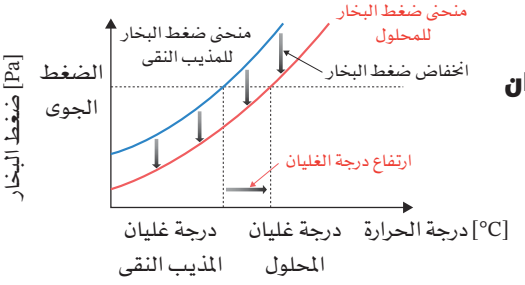
١. انخفاض الضغط البخارى وارتفاع درجة الغليان

(أ) انخفاض الضغط البخارى:

الضغط البخاري لمحلول مادة غير متطايرة أقل من الضغط البخاري للمذيب النقى.

السبب:

لأن جسيمات المذاب الموجودة على سطح السائل تعيق تبخر جزيئات المذيب.



شكل 1.9.1 : مخطط انخفاض الضغط البخاري

(ب) ارتفاع درجة الغليان:

درجة غليان محلول مادة غيرمتطايرة أعلى من درجة غليان المذيب النقي.

(جـ) ثابت ارتفاع درجة الغليان المولالي:

مقدار ارتفاع درجة الغليان عندما تكون مولالية المحلول 1mol/Kg. يُرمز له بالرمز K_b.

فكّر كعالم كيميائى:

يريد أحد الكيميائيين الحصول على بلورات نقية من مادة مذابة وبدلاً من تبخير كل المذيب، قام الكيميائي بتبريد المحلول.

فكر:

لماذا يمكن أن يكون التبريد طريقة تنقية فعّالة؟

.....

اربط إجابتك بمفهومي الذوبانية والتبلور.

.....

بنية العلم

حقيقة أساسية:

يعتمد ارتفاع درجة الغليان وانخفاض درجة التجمد على عدد الجسيمات المذابة في المحلول، وليس نوع المذاب.

المفاهيم الأساسية:

- ارتفاع درجة الغليان
- انخفاض درجة التجمد
- التبريد الفائق
- المذاب غير المتطاير
- منحنى التبريد.

القانون العلمى:

ارتفاع درجة الغليان

$\Delta t = K_b m$

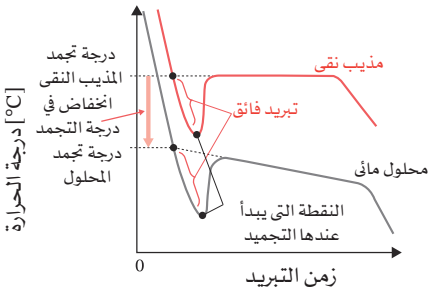
انخفاض درجة التجمد

$\Delta t = K_f m$

٢. انخفاض درجة التجمد

(أ) منحنى التبريد:

يوضح الرسم البياني... العلاقة بين درجة حرارة مادة ما وزمن التبريد.



شكل 1.9.2 : منحنى التبريد

(ب) درجة التجمد:

هى درجة الحرارة التي يبدأ عندها المذيب فى محلول ما بالتجمد.

(جـ) انخفاض درجة التجمد:

الظاهرة التي تصبح فيها درجة تجمد محلول مادة غير متطايرة أقل من درجة تجمد المذيب النقي.

(د) ثابت انخفاض درجة التجمد المولالي:

هو مقدار انخفاض درجة تجمد محلول تركيزه المولالى 1 mol/ Kg يرمز له بالرمز K_f.

(هـ) التبريد الفائق (super-cooling): هي ظاهرة انخفاض درجة حرارة المذيب السائل لأقل من درجة تجمده بينما يبقى في حالة سائلة أثناء التبريد.

- عند بدء التجمد في حالة التبريد الفائق، ترتفع درجة الحرارة [°C].
- يُظهر منحنى تبريد المحلول أن درجة الحرارة تستمر بالانخفاض حتى مع استمرار التجمد.

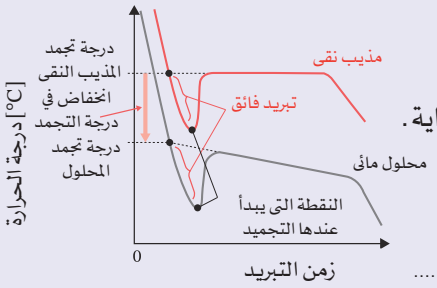
السبب: لأن المذيب فقط هو الذي يتجمد، يزداد تركيز المحلول، ويصبح انخفاض درجة التجمد أكبر.

عند حدوث التبريد الفائق، تُؤخذ درجة التجمد على أنها درجة الحرارة عند النقطة التي يتقاطع فيها الخط الأفقي المستوي (عند امتداده لليسار) مع منحنى التبريد الأصلي.

فكّر كعالم كيميائى:

مهارات قراءة الرسوم البيانية

افحص الرسم البياني الخاص بانخفاض درجة التجمد بعناية.



حدد:

- أين يحدث التبريد الفائق؟

.....

- أين يبدأ التجمد؟

.....

- درجة التجمد الفعلية.

.....

- الدليل على حدوث التجمد.

.....

اشرح:

لماذا ترتفع درجة الحرارة قليلًا بعد التبريد الفائق؟

.....

٣. مقدار ارتفاع درجة الغليان وانخفاض درجة التجمد:

(أ) مقدار ارتفاع درجة الغليان وانخفاض درجة التجمد:

(i) لا يعتمد على نوع المذاب.

(ii) **يتناسب طرديًا** مع مولالية المحلول.

ملاحظة: عندما يكون المذاب إلكتروليتًا، تُعتبر مولالية المحلول **متناسبة طرديًا** مع عدد الجسيمات (الأيونات) في المحلول.

مثال: كلوريد الصوديوم NaCl يتأين في محلوله المائي إلى Na^+ و Cl^-، فيتضاعف عدد الجسيمات (الأيونات) في المحلول. ⟸ تُعتبر مولالية المحلول قد تضاعفت.

(ب) مقدار ثابت ارتفاع درجة الغليان لمحلول مولالي وثابت انخفاض درجة التجمد لمحلول مولالي:

(i) نوع المذيب هو الذي يحدد قيم الثوابت، بغض النظر عن نوع المذاب.

(ii) تُستخدم كثابت تناسب K يربط بين مقدار ارتفاع درجة الغليان أو انخفاض درجة التجمد والمولالية.

- عندما تكون مولالية المحلول m [mol/Kg] ومقدار ارتفاع درجة الغليان أو انخفاض درجة التجمد Δt.

فإن: $\Delta t = K.m$

K هو ثابت ارتفاع درجة الغليان المولالية K_b أو ثابت انخفاض درجة التجمد المولالى K_f.

(m: مولالية الجزيئات والأيونات المذابة).

صندوق المعادلات

الكمية	التعريف
ارتفاع درجة الغليان	$\Delta t = K_b \cdot m$
انخفاض درجة التجمد	$\Delta t = K_f \cdot m$
المذاب الإلكتروليتي	تُضرب المولالية بعدد الأيونات لكل وحدة صيغ

الكيمياء من حولنا:

مانع التجمد في مبردات السيارات

في المناخ البارد، قد يتجمد الماء داخل مبرد السيارة عندما تنخفض درجة الحرارة دون 0 °C. وإذا حدث ذلك، فقد يؤدى تمدد الثلج إلى إتلاف نظام التبريد ومكونات المحرك.

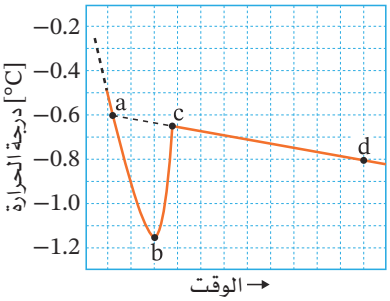
لمنع هذه المشكلة، تُضاف مادة مثل الإيثيلين جليكول إلى ماء المبرد. تعمل الجزيئات المذابة على خفض درجة تجمد المحلول، مما يسمح له بالبقاء سائلًا عند درجات الحرارة التى يتجمد عندها الماء النقي.

مثال:

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) يوضح الشكل المقابل:

التغير في درجة الحرارة عند تبريد محلول لا إلكتروليت (A) مذاب في 100 g من الماء. أجب عن الأسئلة التالية.



(1) ما اسم حالة التبريد بين النقطتين (a) و(b) في الشكل؟

(2) في أي نقطة من النقاط (a) , (b) , (C) تبدأ البلورات الثلجية في التكوّن؟

(3) أي من درجات الحرارة عند النقاط من (a) إلى (d) تعبر عن درجة تجمد المحلول؟

(ب) أجب عن الأسئلة التالية:

بفرض أن درجة تجمد الماء هي 0°C وأن ثابت انخفاض درجة التجمد المولالي للماء هو (1.85 K.kg/mol)

(i) أوجد درجة تجمد محلول مائي مذاب به 11.7 g من كلوريد الصوديوم NaCl (الكتلة الجزيئية = 58.5 /mol) في 500 g من الماء. افترض أن كلوريد الصوديوم متأين تأين تام.

.....

(ii) الفرق في درجة التجمد بين محلول مائي مذاب به 7.5 g من مادة لا إلكتروليتية غير متطايرة في 250 g من الماء والماء النقي يساوى 0.30 °C. أوجد الكتلة الجزيئية النسبية للمادة اللا إلكتروليتية . (لأقرب رقم صحيح)

.....

الشرح

(أ) (i) التبريد الفائق (Supercooling)

(ii) عند بدء التجمد في حالة التبريد الفائق، ترتفع درجة الحرارة، لذا فإن أدنى درجة حرارة هي النقطة التي يبدأ عندها التجمد وتبدأ البلورات بالتكوّن هي b.

(iii) a

درجة التجمد هي تقاطع الخط المستقيم cd (عند امتداده لليسار) مع منحنى التبريد الأصلي

(ب) (i) عند إيجاد درجة تجمد محلول مائي، نوجد أولاً مقدار انخفاض درجة التجمد للمحلول.

«بما أن درجة تجمد الماء هي 0 °C، فإن درجة تجمد المحلول المائي يمكن تحديدها بمجرد معرفة مقدار الانخفاض في درجة التجمد.»

إذا كان المقدار المطلوب للانخفاض في درجة تجمد المحلول المائي هو Δt_f، وثابت الانخفاض المولالي في درجة التجمد هو K_f، ومولالية المحلول m بـ وحدة [mol/kg]، فإن المعادلة التالية يمكن استخدامها:

$$\Delta t_f = K_f.m$$

وبناءً على ذلك، يتم أولًا حساب مولالية الأيونات المذابة.

كمية مادة كلوريد الصوديوم المذاب $= \frac{11.7\ g}{58.5\ g/mol} = 0.200\ mol$، كتلة الماء $= 500\ g = 0.500\ kg$.

$$m = \frac{0.200\ mol}{0.500\ kg} = 0.400\ mol/kg$$

بما أن كلوريد الصوديوم يتأين إلى Na^+ و Cl^- ، فيتضاعف عدد الجسيمات (الأيونات) في المحلول، تُعتبر مولالية المحلول قد تضاعفت.

$$2 \times 0.400 = 0.800 \text{ mol/kg}$$

إذن مقدار انخفاض درجة التجمد: Δt_f

$$\Delta t_f = 1.85 \text{ K.kg/mol} \times 0.800 \text{ mol/kg} = 1.48 \text{ K}$$

وبما أن درجة تجمد الماء 0°C، فإن درجة تجمد المحلول المائي المطلوبة هي:

$$0 - 1.48 = -1.48 \text{ °C}$$

(ii) بما أن ثابت انخفاض درجة التجمد المولالي معطى، تُوجد الكتلة الجزيئية النسبية باستخدام المولالية m[mol/kg].

بفرض أن الكتلة المولية للمادة اللا إلكتروليتية m[g / mol]، فإن المولالية $= \frac{\frac{7.5}{M}[\text{mol}]}{0.250 \text{ kg}}$

بما أن الفرق بين درجة تجمد الماء النقي و درجة تجمد المحلول هو مقدار الانخفاض في درجة التجمد Δt_f

وثابت انخفاض درجة التجمد المولي هو K_f، بتطبيق المعادلة : $\Delta t_f = K_f m$

$$0.30 \text{ K} = 1.85 \text{ K.kg/mol} \times \frac{\frac{7.5}{M}[\text{mol}]}{0.250 \text{ kg}}$$

وبحل هذه المعادلة نجد أن $M = 185 \text{ g/mol}$. وبالتالي، فإن الكتلة الجزيئية النسبية تساوي 185.

فكر بشكل نقدي: دليل أم افتراض؟

وُضع وعاءان في المجمّد:

- الوعاء (A) يحتوى على ماء نقي.
- الوعاء (B) يحتوي على ماء مالح.

تجمد الوعاء (A) أولًا.

استنتج أحد الطلاب ما يلي:

«لقد قام المجمّد بتبريد الوعاء (A) بشكل أكثر فاعلية.»

هل هذا الاستنتاج يمكن دعمه بدليل؟.....

حاول بنفسك: ما التفسير الذى يمكن أن يفسر هذه الملاحظة؟ .....

حاول بنفسك:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. قام عالم بمضاعفة المولالية لمحلول ما مع الحفاظ على المذيب دون تغيير.

ماذا يحدث لارتفاع درجة الغليان؟

(أ) يبقى دون تغيير.

(ب) يتضاعف.

(جـ) ينخفض إلى النصف.

(د) يصبح صفرًا.

الإجابة: .....

٢. قام طالب بتبريد محلول مشبع من نترات البوتاسيوم ولاحظ تكوّن بلورات.

ما العملية التي تحدث؟

(أ) التحييد

(ب) التسامي

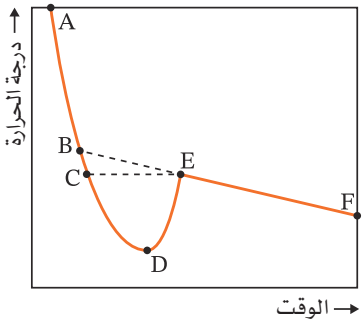
(جـ) إعادة التبلور

(د) التأين

الإجابة: .....

أجب عن الأسئلة التالية:

٣. الشكل المقابل هو منحني تبريد يوضح العلاقة بين زمن التبريد و درجة الحرارة عند تبريد محلول مخفف للسكروز $C_{12}H_{22}O_{11}$



(أ) ما اسم الظاهرة التي تنخفض فيها درجة الحرارة بينما يبقى السائل سائلاً حتى بعد تبريده لأقل من درجة التجمد؟

.....

(ب) أي نقطة من A إلى F في الشكل تمثل درجة التجمد؟

.....

(جـ) اشرح لماذا يميل الخط المستقيم EF في الشكل نحو الأسفل إلى اليمين.

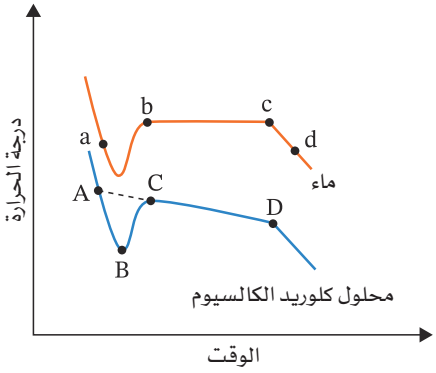
.....

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. الشكل المقابل هو منحنى تبريد يوضح العلاقة بين زمن التبريد ودرجة الحرارة عند تبريد الماء ومحلول مائي من كلوريد الكالسيوم ببطء.

أجب عن الأسئلة التالية.



(أ) ما هي الظاهرة التي تحدث للماء عند النقطة (a)؟

.....

(ب) أى نقطة (من A إلى D) في الشكل تمثل نقطة تجمد المحلول المائي لكلوريد الكالسيوم؟

.....

(جـ) أين يبدأ تجمد المحلول المائي لكلوريد الكالسيوم؟ اخترمن بين النقاط من A إلى D في الشكل.

.....

(د) في المدى من b إلى c، تظل درجة الحرارة ثابتة رغم التبريد. اشرح السبب بإيجاز.

.....

(هـ) في المدى من c إلى d، تنخفض درجة الحرارة تدريجيًا. اشرح السبب بإيجاز.

.....

تحد تفكيرك:

تصميم جهاز إزالة الجليد الصديق للبيئة

ترغب مدينتك في الحد من حوادث الطرق الشتوية مع تقليل الأضرار البيئية إلى أدنى حد ممكن.

تتوفر لديك المواد التالية:

- كلوريد الصوديوم
- كلوريد الكالسيوم
- السكر
- الرمل

من خلال فهمك لخفض درجة التجمد:

- ما المادة التي توصي باستخدامها؟

.....

- ما الدليل الذي يؤيد اختيارك؟

.....

- ما التأثيرات البيئية التي يجب أخذها في الاعتبار؟

.....

١٠-١ — الضغط الأسموزي

مقدمة:

عند وضع خيارة في محلول ملحي مركز وتركها لعدة ساعات. بعد ذلك تصبح أصغر حجمًا وأكثر ليونة بشكل ملحوظ. لا يبدو أن شيئًا قد أُخذ من الخيارة، ومع ذلك تغيّر حجمها. **أين ذهب الماء؟**

في هذا الدرس، سوف ندرس كيف ساعدت الملاحظات الدقيقة لحركة الماء في الكائنات الحية العلماء إلى تطوير نماذج وتفسيرات لظاهرتي التناضح (Osmosis) والضغط الأسموزي (Pressure Osmotic).

؟ سؤال توجيهي: كيف ولماذا يتحرك المذيب عبر غشاء شبه منفذ، وكيف يمكن للعلماء قياس الضغط الذي ينتج عن ذلك؟

الاستكشاف

تخيّل أنبوبًا على شكل حرف U يفصل بين طرفيه غشاء شبه منفذ. أحد الجانبين يحتوي على ماء نقي، والجانب الآخر يحتوي على محلول جلوكوز. دون دراسة الدرس:

- تنبأ باتجاه حركة الماء.

.....

- تنبأ ما سيحدث لمستويات السائل.

.....

- فسر أفكارك.

.....

تعلم

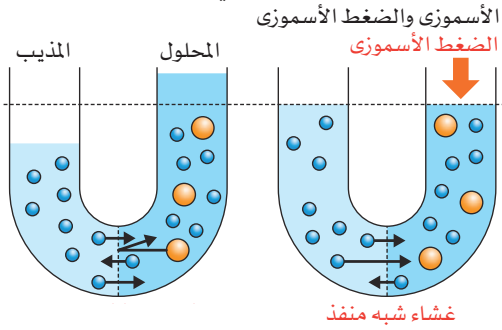
الأسموزية والضغط الأسموزي:

(i) **الغشاء شبه المنفذ:**

غشاء له مسام دقيقة تسمح لجزيئات المذيب الصغيرة (مثل الماء) بالمرور، لكنها تمنع جزيئات المذاب الكبيرة (مثل السكروز) — مثال: السلوفان أو غشاء المثانة الحيواني.

(ii) **الأسموزية (Osmosis):**

ظاهرة تتحرك فيها جزيئات المذيب من خلال غشاء شبه منفذ إلى جانب المحلول عندما يُفصل مذيب وماء نقي (أو محلولان بتركيزين مختلفين) بواسطة الغشاء.



شكل 1.10.1 الأسموزية والضغط الأسموزي

الميكانيكية: لماذا يحدث ذلك؟

تتحرك جزيئات الماء باستمرار في كلا الاتجاهين عبر مسام الغشاء شبه المنفذ.

ومع ذلك، فإن «جزيئات المذاب» الكبيرة لا يمكنها المرور عبر المسام الموجودة في جانب المحلول، مما يعيق فيزيائيًّا عودة جزيئات الماء إلى جانب الماء النقي. ونتيجة لذلك، يتجاوز عدد جزيئات الماء المتحركة من جانب «الماء النقي ← المحلول» عدد الجزيئات المتحركة في الاتجاه المعاكس، مما يؤدي إلى حركة صافية للماء نحو المحلول.

بنية العلم

مفاهيم أساسية:

- غشاء شبه منفذ
- الأسموزية
- الضغط الأسموزي
- الأسموزية العكسية
- التركيز.
- المذيب والمذاب.

القانون العلمي:

قانون فان هوف للمحاليل المخففة $(\pi = cRT)$.

النماذج العلمية

لا يمكن لأي عالم أن يراقب مباشرة مليارات جزيئات الماء وهي تتحرك عبر غشاء في الوقت نفسه.

وبدلاً من ذلك، يستخدم العلماء الرسوم التوضيحية والنماذج والعلاقات الرياضية لشرح وتوقع ما يحدث.

(iii) الضغط الأسموزي:

- عندما تحدث الأسموزية في أنبوب على شكل حرف U، يرتفع مستوى السائل في جانب المحلول. تتوقف العملية الأسموزية عندما يتزن الضغط الناتج عن الفرق في ارتفاع مستويي السائل (الضغط الهيدروستاتيكي لعمود الماء) الضغطَ الأسموزي.
- لذلك، فإن الضغط الأسموزي يعادل الضغط الذي يجب تطبيقه على جانب المحلول لمنع حدوث العملية الأسموزية (أي للحفاظ على مستويات السائل عند نفس الارتفاع في كلا الجانبين).

ظاهرة طبيعية

تحتوي خلايا النبات على ماء يولّد ضغطًا داخليًا على جدران الخلية. وعندما يُفقد الماء، تصبح الخلايا أقل صلابة ويبدأ النبات بالذبول. تلعب الخاصية الأسموزية دورًا حاسمًا في الحفاظ على بنية النبات وبقائه.

(iv) قانون فانت هوف (van't Hoff's Law):

بالنسبة للمحاليل المخففة، يتناسب الضغط الأسموزي π [Pa] طرديًا مع التركيز المولاري c [mol/L] للمحلول ودرجة الحرارة المطلقة T [K]، بغض النظر عن نوع المذيب أو المذاب.

$$\pi = cRT$$

(R: ثابت الغازات المولاري. بما أن $C = \frac{n}{V}$، يمكن التعبير عنها بالعلاقة $\pi V = nRT$) وهي نفس صيغة معادلة الغاز المثالي).

صندوق المعادلات

الكمية	المعنى
قانون فانت هوف	$\pi = cRT$
الصيغة المكافئة	$\pi V = nRT$ (حيث R ثابت الغازات المولاري)

تطبيق حياتي:

الأسموزية العكسية – تقنية تحويل ماء البحر إلى ماء عذب، ماذا يحدث إذا تم تطبيق ضغط أكبر من الضغط الأسموزي على جانب المحلول بشكل قسري؟

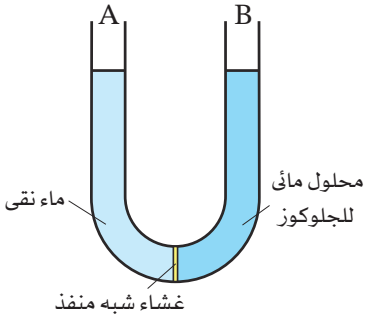
من المثير للدهشة أن جزيئات الماء الموجودة في المحلول (الجانب المركز) تُدفع عبر الغشاء شبه المنفذ ويتم دفعها إلى الماء النقي (الجانب المخفف)، عكس الاتجاه الطبيعي للعملية الأسموزية. وتُسمى هذه الظاهرة الأسموزية العكسية.

تلعب تقنية الأسموزية العكسية دورًا حيويًا في حياتنا اليومية، ولا سيما في تحلية مياه البحر. فمن خلال تطبيق ضغط عالٍ على مياه البحر وتمريرها عبر غشاء شبه منفذ خاص (يُعرف بغشاء الأسموزية العكسية)، يتم حجب المواد المذابة مثل الملح، ولا يتم استخلاص سوى المياه الصالحة للشرب (المياه العذبة). يُطبق هذا المبدأ الكيميائي في البلدان التي تعاني من ندرة المياه، وفي أنظمة تنقية المياه أثناء الكوارث، وحتى في إعادة تدوير المياه في محطة الفضاء الدولية (ISS).

إن فهم هذه الظاهرة غير المرئية والمجهرية لحركة المياه يرتبط بتكنولوجيا رائعة تحل التحديات العالمية.

مثال:

أجب عن الأسئلة التالية:



كما هو موضح في الشكل، يُقسَّم مركز أنبوب على شكل U بواسطة غشاء شبه منفذ. يوضع الماء النقى في A، ويوضع محلول مائى للجلوكوز في B في الوقت نفسه بحيث يكون مستوى السائلين على نفس الارتفاع، ويُترك عند 27°C.

افترض أن الكتلة الجزيئية النسبية للجلوكوز 180 g/mol

وأن ثابت الغازات 8.3×10^3 Pa.L/(K.mol)

(أ) بعد فترة من الزمن، أى مستوى سائل يرتفع، A أم B؟

.....

(ب) في الحالة A اكتب اسم المادة التى تتحرك عبر الغشاء شبه المنفذ.

.....

(جـ) تـم عمـل 200 ml مـن محلـول الجلوكـوز بإذابـة 1.2 g مـن الجلوكـوز $C_6H_{12}O_6$ في المـاء. ما الضغط الأسموزي (Pa) الذي يجب تطبيقه لإيقاف ارتفاع المستوى؟

.....

الشرح

(أ) بما أن الماء النقي ينفذ إلى محلول الجلوكوز المائي بالخاصية الأسموزية، يرتفع مستوى السائل في جانب محلول الجلوكوز. لذلك: فإن الإجابة B.

(ب) الماء.

(جـ) عند حساب الضغط الأسموزي، يُستخدم قانون فانت هوف. بفرض أن الضغط الأسموزي π [Pa]، من قانون فانت هوف $\pi V = nRT$:

حوّل وحدة الحجم إلى [L] ووحدة درجة الحرارة إلى [K]

$$\pi\,[\text{Pa}] \times 0.200\ \text{L} = \frac{1.2\text{g}}{180\ \text{g/mol}} \times 8.3 \times 10^3\ \text{Pa.L/(K . mol)} \times (27 + 273)\ \text{K}$$

$$\pi = \frac{\cancel{1.2}^{\,2}\text{g} \times 8.3 \times 10^3\ \text{pa.L/ (K.mol)} \times 300\ \text{k}}{\underset{1}{\cancel{180}^{\,3}}\ \text{g/mol} \times \underset{1}{\cancel{0.200}}\ \text{L}}$$

$$= 8.3 \times 10^4\ \text{pa}$$

فكّر بشكل نقدى:

يقول أحد الطلاب: «تحرك الماء لأن جزيئات الجلوكوز سحبته عبر الغشاء». قم بتقييم هذه الفكرة.

- هل هذا التفسير دقيق تمامًا؟

.....

- ما هي الأدلة التى تدعمه أو تتعارض معه؟

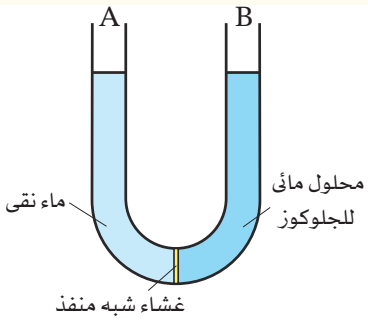
.....

- كيف يمكنك تعديل هذا التفسير؟

.....

حاول بنفسك:

اقرأ النص التالى وأجب عن الأسئلة التى تليه:



كما هو موضح في الشكل المقابل، يتم فصل مركز أنبوب على شكل حرف U بواسطة غشاء شبه منفذ. وضع ماء نقى في الفرع (A)، ومحلول مائى للجلوكوز في الفرع (B) في نفس الوقت بحيث يكون مستوى السائلين عند نفس الارتفاع، وتُركت في درجة حرارة 27°C.

من الفرع (i) (A / B) إلى الفرع (ii) (A / B)، تمر جزيئات (iii) (الماء / الجلوكوز) عبر الغشاء شبه المنفذ، ويرتفع مستوى السائل في (iv) (A / B).

(أ) اختر الحروف أو الكلمات المناسبة لـ (i) إلى (iv) في النص من بين الخيارات الموجودة بين القوسين.

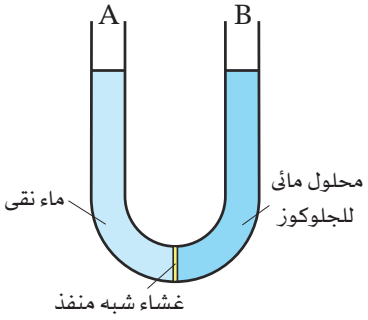
(ب) تم تحضير 300 mL من محلول الجلوكوز المائي في الأنبوب عن طريق إذابة 1.8 g من الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ في الماء. ما هو الضغط (الضغط الأسموزي) (Pa) الذي يؤثر لمنع ارتفاع مستوى السائل في هذا المحلول المائي؟

احسب الضغط الأسموزي لأقرب رقمين عشريين. افترض أن ثابت الغاز

$R = 8.3 \times 10^3$ Pa . L/(K . mol). $(C_6H_{12}O_6 = 180)$

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:



كما هو موضح في الشكل، تم تقسيم مركز أنبوب على شكل U بواسطة غشاء شبه منفذ. تم وضع محلول جلوكوز مائى في A، والماء النقي في B في نفس الوقت بحيث تكون مستوياتهما السائلة على نفس الارتفاع، ويُترك عند درجة حرارة 27°C

(أ) أي مستوى سائل سيرتفع، A أم B؟

(ب) المحلول المائي للجلوكوز تم تحضيره عن طريق إذابة 0.60 g من الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ في الماء لإنتاج 200 mL. ما الضغط الأسموزي (Pa) الذي يجب تطبيقه لمنع ارتفاع مستوى هذا المحلول المائي؟ احسب الضغط الأسموزي لأقرب رقمين عشريين.

افترض أن ثابت الغاز $R = 8.3 \times 10^3$ Pa . L/(K . mol)، $(C = 12\ ,\ H = 1.0\ ,\ O = 16)$

تحدَّ تفكيرك:

يبدأ نبات بالذبول بعد أن سُقى بمحلول سماد مركز. باستخدام فهمك للخاصية الأسموزية:

- توقّع اتجاه حركة الماء.

.....

- فسر لماذا يفقد النبات صلابته.

.....

- اقترح حلًا لمساعدة النبات على التعافي.

.....

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيرى

.....

✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته

.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في الاستكشافه

.....

١-١١ — الغرويات (المحاليل الغروية)

مقدمة:

عند تسليط شعاع ليزر عبر وعاءين — أحدهما يحتوي ماءً نقيًّا، والآخر يحتوي حليبًّا مخففًّا.

ما ملاحظتك؟ .....

ما استنتاجك؟ .....

في هذا الدرس سنبحث في السبب وراء ذلك، ونفهم معنى الغرويات، وندرس خصائصها الرئيسية، بما في ذلك الغرويات المحبة للماء والترسيب بالأملاح، والغرويات الكارهة للماء والتخثر.

؟ سؤال توجيهي: كيف يمكن للجسيمات الدقيقة المنتشرة في وسط ما أن تؤثر على سلوك الضوء والحركة والمادة؟

تعلم

١. الغرويات:

(أ) **الجسيمات الغروية:** جسيمات يتراوح قطرها بين $10^{-9}m$ to $10^{-7}m$ تقريبًا – أكبر من الأيونات والجزيئات، لا يمكنها المرور عبر غشاء شبه منفذ (مثل السلوفان) لكن يمكنها المرور عبر ورق الترشيح.

(ب) **الغروي:** حالة تنتشر فيها الجسيمات الغروية بانتظام في مادة أخرى (أو في المادة نفسها).

(جـ) **المحلول الغروي:** محلول تنتشر فيه الجسيمات الغروية في سائل.

(د) **الهُلام (جِل):** محلول غروي فقد قابليته للسيولة.

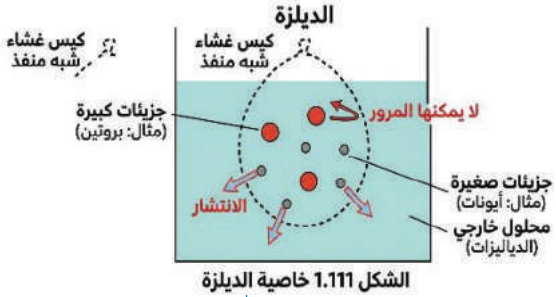
مثال: الحليب الساخن مع النشا ← مهلبية.

٢. خصائص الغرويات:

(أ) **تأثير تندال:** الظاهرة التي تُشَتِّتُ فيها الجسيمات الغروية الضوء، مما يجعل مسار الضوء مرئيًا.

(ب) **الحركة البراونية:** الحركة غير المنتظمة للجسيمات الغروية الناتجة عن اصطدام جسيمات وسط التشتت بالجسيمات الغروية.

(جـ) **الديلزة (Dialysis):** عملية فصل محلول غروي باستخدام غشاء شبه منفذ، إلخ (لأن الجسيمات الغروية أكبر من المسام الموجودة في الغشاء).



الشكل 1.111 خاصية الديلزة

(د) **الهجرة الكهربية (الترحيل الكهربي) (Electrophoresis):** ظاهرة تتحرك فيها الجسيمات الغروية المشحونة نحو أحد الأقطاب الكهربائية.

- تتحرك الجسيمات الموجبة الشحنة نحو **الكاثود**.
- تتحرك الجسيمات السالبة الشحنة نحو **الأنود**.

بنية العلم

الحقيقة الرئيسية:

الخصائص الفريدة للمحاليل الغروية تنشأ من الحجم المتوسط والشحنة لجسيماتها.

المفاهيم الرئيسية:

- الجسيمات الغروية.
- محلول غروي (سول).
- محلول غروي محب للماء.
- محلول غروي كاره للماء.
- محلول غروي واقٍ.

(هـ) الغرويات المحبة للماء والترسيب بالأملاح

الغروي المحب للماء:

نظام غروي تتميز جسيماته بانجذاب قوي للماء، حيث تحيط بها أعداد كبيرة من جزيئات الماء وتُمَيّهُها، مما يحافظ على تشتتها.

مثال: النشا، البروتين.

الترسيب بالأملاح (Salting out):

ظاهرة يحدث فيها ترسيب للغروي المحب للماء عند إضافة كمية كبيرة من إلكتروليت (مادة متأينة) إليه.

(و) الغرويات الكارهة للماء والتخثر: الغروى الكاره للماء: غروي ذو انجذاب منخفض للماء (تتشتت جسيماته في الوسط بفعل قوى التنافر بين الشحنات المتشابهة التي تحملها أسطح الجسيمات).

أمثلة: الطين، الكبريت، وغيرها.

التخثر / التجلط (Coagulation):

ظاهرة يحدث فيها ترسيب وتكتل للغروي الكاره للماء عند إضافة كمية صغيرة من إلكتروليت إلى غروي كاره للماء.

الأيون الذي يحمل شحنة مخالفة لشحنة الجسيمات الغروية ويمتلك تكافؤًا أعلى (شحنة أكبر) يكون أكثر فاعلية وقدرة على إحداث عملية التخثر.

(ز) **الغروي الواقي (Protective colloid):** هو غروي محب للماء يُضاف إلى الغروي الكاره للماء، ليجعل من الصعب على جسيمات الغروى الكاره للماء أن تتخثر أو تترسب (حيث يحيط بها ويحميها من التكتل).

التصورات الخطأ

«جميع المخاليط التى تبدو متجانسة هي محاليل حقيقية».

الحقيقة:

بعض المخاليط تبدو متجانسة ولكنها في الواقع غرويات تحتوى على جسيمات متناثرة كبيرة بما يكفى لتشتيت الضوء.

مثال:

أجب عن الأسئلة الآتية:

(أ) اقرأ النص وأجب:

يسمّى الخليط الذي تنتشر فيه بانتظام جسيمات قطرها يتراوح بين 10^{-9}m و 10^{-7}m تقريبًا في سائل باسم (A). عند إضافة محلول مائي من كلوريد الحديد (III) إلى ماء مغلي، يتكوّن (A) من هيدروكسيد الحديد (III). وعند وضع هذا الخليط في كيس سلوفان مغمور في ماء مقطر يزيل الشوائب وينقّيها – تُسمّى هذه العملية (B). وعند إضافة كمية صغيرة من إلكتروليت إلى جزء من (A) وتركه لبعض الوقت، يحدث ترسيب؛ يُسمى هذا (C). ولأن هذا يحدث بسهولة، يُصنَّف غروي هيدروكسيد الحديد (III) كغروي (D).

(i) أجب عن الكلمات المناسبة لكل من A إلى D في النص.

(ii) هيدروكسيد الحديد (III) غروي مشحون بشحنة موجبة، أي من المحاليل الإلكتروليتية المائية التالية (a إلى d) والتي لها نفس المولارية يسبب الترسيب بأقل كمية؟

(أ) NaCl (ب) $Ca(NO_3)_2$ (جـ) K_2SO_4 (د) $CaCl_2$

(ب) الجمل التالية تصف ظواهر مميزة تُظهرها الغرويات. حدّد المصطلح المرتبط بشكل وثيق بكل من الظواهر التالية:

(i) يمكن رؤية مسار الضوء من مصابيح السيارة الأمامية من الجانب ليلًا.

(ii) يمكن إزالة الرماد عن طريق تطبيق جهد كهربائي عالٍ بالتيار المستمر داخل مداخن المصانع.

(iii) تتحرك الجسيمات الغروية بشكل غير منتظم عندما تصطدم بجزيئات المذيب المحيط.

الشرح

(أ) (i): **A:** محلول غروي

B: تمرّ الجزيئات والأيونات الصغيرة في المحلول الغروى لهيدروكسيد الحديد (III) عبر غشاء السيلوفان إلى الماء. أما الجسيمات الغروية لهيدروكسيد الحديد (III) فلا يمكنها المرور عبر غشاء السيلوفان وتبقى في الكيس، فتزداد النقاوة. تُسمى عملية فصل محلول غروي بهذه الطريقة بالديلزة.

C: الظاهرة التى يحدث فيها ترسيب عند إضافة كمية صغيرة من الإلكتروليت تُسمى التخثر.

D: كاره للماء.

(ii) بما أنه غروي مشحون موجبًا، فإن الإلكتروليت الذي يحتوي على أنيون له أعلى شحنة كهربائية هو الأكثر فاعلية. من بين a إلى d، أيون الكبريتات SO_4^{-2} له أعلى تكافؤ. لذلك: c.

(ب) (i) تُشتّت الجسيمات الغروية في الهواء الضوء، مما يجعل مسار الضوء مرئيًّا. **تأثير تندال.**

(ii) تُجذب جسيمات الرماد الغروية إلى الأقطاب الكهربائية ولم تعد تنبعث من المدخنة. الهجرة الكهربية.

(iii) الحركة البراونية.

حاول بنفسك:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. يصبح شعاع الضوء مرئيًّا عندما يمر عبر محلول غروي. ما هي الخاصية التى يتم ملاحظتها؟

(أ) الحركة البراونية.

(ب) الهجرة الكهربية.

(جـ) غسيل الكلى.

(د) تأثير تندال.

الإجابة: .....

٢. وُضع محلول غروى في مجال كهربائي، فتحركت جزيئاته نحو الأنود. ما الاستنتاج الذى يمكن استخلاصه؟

(أ) الجسيمات موجبة الشحنة.

(ب) الجسيمات متعادلة الشحنة.

(جـ) الجسيمات سالبة الشحنة.

(د) الجسيمات لا تحتوي على ماء.

الإجابة: .....

٣. من بين العبارات التالية التي تصف الغرويات من (أ) إلى (هـ)، اختر كل العبارات الصحيحة.

(أ) نظرًا لأن قطر الجسيمات الغروية يبلغ حوالى $10^{-3}m$، فإنها لا تستطيع المرور عبر ورق الترشيح.

(ب) امتصاص الغرويات للضوء هو ما يُعرف بتأثير تندال.

(جـ) تحدث الحركة البراونية لأن جزيئات المذيب التي تتحرك حراريًّا تصطدم بشكل عشوائى بالجسيمات الغروية.

(د) لا تؤدي إضافة كمية كبيرة من الإلكتروليت إلى محلول بياض البيض إلى حدوث ترسيب.

(هـ) يُطلق على الغرويات التي فقدت سيولتها، مثل المهلبية الباردة، اسم (سول).

الإجابة: .....

السياق العالمى

تلعب كيمياء الغرويات دورًا مهمًا في تنقية المياه، والهواء، والحد من التلوث، وإنتاج الأغذية، والصناعات الدوائية. إن فهم النظم الغروية يساعد العلماء على تطوير تقنيات مستدامة للمجتمعات الحديثة.

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. اقرأ النص التالي وأجب عن الأسئلة التي تليه:

عند إضافة كمية صغيرة من الإلكتروليت إلى محلول غروي من كبريتيد الزرنيخ، تتجمع الجسيمات الغروية وتترسب (a). كما أنه عند غمر قطبين كهربيين في هذا المحلول الغروي وتطبيق جهد تيار مستمر، تتجمع الجسيمات الغروية عند الأنود (b) وبالتالي يصبح اللون بالقرب من الأنود أغمق.

(أ) ما اسم الظاهرة المذكورة في الجزءين المشار إليهما (a) و(b) على التوالي؟

(ب) هل تحمل جزيئات كبريتيد الزرنيخ الغروية شحنة موجبة أم سالبة؟

(جـ) عند إضافة المحاليل المائية التالية من A إلى E إلى المحلول الغروي، أى منها يسبب التخثر الموصوف في (a) بأقل مولارية؟

١. $NaCl$ ٢. $MgCl_2$ ٣. $Al(NO_3)_3$ ٤. Na_2SO_4 ٥. KNO_3

٢. طابق كل وصف من الأوصاف الآتية (من i إلى v) مع الظاهرة أو العملية الصحيحة (من A إلى E).

(i) يؤدي تسليط ضوء قوي على محلول النشا إلى إضاءة مسار الضوء.

(ii) تحت جهد تيار مستمر، يتحرك الحديد.

(III) جسيمات الهيدروكسيد تتحرك نحو الكاثود.

(iii) تحت المجهر الضوئي، تتحرك الجزيئات الغروية بشكل غير منتظم.

(iv) تؤدي إضافة كمية كبيرة من الإلكتروليت إلى خليط النشا والحليب أو الجيلاتين إلى حدوث ترسيب.

(v) تؤدي إضافة كمية صغيرة من الإلكتروليت إلى غروية الكبريت إلى حدوث ترسيب.

A. الترسيب بالملح B. التخثر C. تأثير تندال D. الحركة البراونية E. الهجرة الكهربية

الإجابة: .....

تحدَّ تفكيرك:

يعاني مجتمع من مياه شرب مالحة تحتوي على جسيمات غروية معلّقة.

- أى خصائص غروية يمكن أن تساعد في إزالة هذه الجسيمات؟

.....

- هل يكفي الترشيح وحده؟

.....

- كيف يمكن للتخثر أن يحسّن عملية التنقية؟

ادعم اقتراحك باستخدام تعليل علمي.

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيري

.....

✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته

.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في الاستكشافه

.....

١-١٢ — بنية البلورات الفلزية

مقدمة:

انظر حولك.

تتحمل الجسور الفولاذية أحمالًا هائلة.

تسافر الطائرات المصنوعة من الفلزات آلاف الكيلومترات. ومع ذلك فإن الفلزات مكوّنة من ذرات دقيقة يفصل بينها فراغ.

في هذا الدرس، سنستكشف كيف يحدد الترتيب ثلاثي الأبعاد للذرات داخل الفلزات خصائصها وأداءها.

سؤال توجيهي: كيف يؤثر ترتيب الذرات داخل المعدن على خصائصه واستخداماته؟

تعلم

١. البلورات والمواد الصلبة اللابلورية

(أ) **البلورة:** مادة صلبة تُرتَّب فيها الجسيمات بنمط منتظم.

(ب) **الشبكة البلورية:** بنية الترتيب المنتظم للجسيمات في بلورة.

(جـ) **وحدة الخلية:** أصغر وحدة بنائية تكرارية في الشبكة البلورية، والتي يُنتج تكرارها في الاتجاهات المختلفة البلورة بأكملها.

(د) **العدد التناسقي:** عدد الجسيمات الأخرى الأكثر قربًا (المحيطة مباشرة) لجسيم معين داخل البلورة.

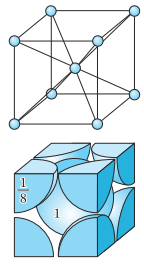
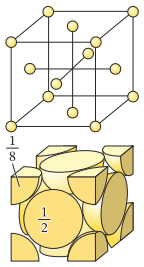
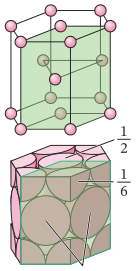
(هـ) **المادة الصلبة اللابلورية:** مادة صلبة لا يكون فيها ترتيب الجسيمات منتظمًا.

٢. بنية البلورات الفلزية

(أ) **البلورة الفلزية:** بلورة تتكوّن من عدد كبير من ذرات فلزية مترابطة بروابط فلزية.

(ب) **تركيب البلورات الفلزية:** تتخذ البلورات الفلزية ثلاثة أنظمة بلورية رئيسية وهي:

- المكعب مركزي الجسم (BCC)
- المكعب مركزي الأوجه (FCC)
- السداسي المتراص / محكم الإغلاق (HCP)

اسم البنية	شبكة مكعبة مركزية الجسم (BCC)	شبكة مكعبة مركزية الأوجه (FCC)	التركيب السداسي المتراص (HCP)
وحدة الخلية			
عدد الذرات في وحدة الخلية	$\frac{1}{8}\times 8+1=2$	$\frac{1}{8}\times 8+\frac{1}{2}\times 6=4$	$\left(\frac{1}{6}\times 12+\frac{1}{2}\times 2+3\right)\times\frac{1}{3}=2$
عدد التناسق	8	12	12
أمثلة	الحديد	النحاس	التيتانيوم

بنية العلم

حقيقة أساسية:

تتوقف خصائص المادة الصلبة البلورية على الترتيب المنتظم للجسيمات داخل شبكتها البلورية.

المفاهيم الأساسية:

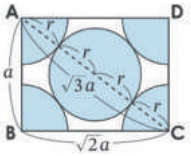
- البلورة.
- الشبكة البلورية.
- عدد التناسق.
- المادة الصلبة غير المتبلورة.
- البلورة المعدنية.
- نصف قطر الذرة.
- كفاءة التعبئة.

التركيب	عدد الذرات في وحدة الخلية	عدد التناسق
BCC	$\left(\frac{1}{8}\times 8\right)+1=2$	8
FCC	$\left(\frac{1}{8}\times 8\right)+\left(\frac{1}{2}\times 6\right)=4$	12
HCP	2	12

(جـ) العلاقة بين طول ضلع وحدة الخلية ونصف القطر الذري:

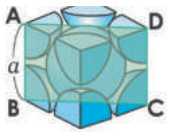
بفرض أن طول ضلع وحدة الخلية هو a، ونصف القطر الذرى هو r

(i) الشبكة المكعبة مركزية الجسم: في المستوى ABCD الموضح بالشكل:

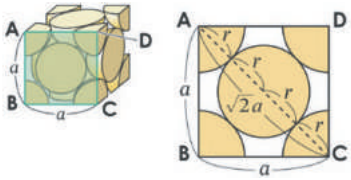


بما أن $a = AB$ و $BC = \sqrt{2a}$، فإن $AC = \sqrt{3a}$ ..... (يمكن حساب ذلك باستخدام نظرية فيثاغورس)

و بما أن أيضا $AC = 4r$ و $4r = \sqrt{3a} \leftarrow r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$



(ii) الشبكة المكعبة مركزية الوجه: في المستوى ABCD في الشكل المقابل:



بما أن $a = AB = BC$ فإن $AC = \sqrt{2a}$

وبما أن $AC = 4r$ ، $4r = \sqrt{2a} \leftarrow r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$

(د) كفاءة التعبئة (efficiency Packing):

النسبة المئوية لحجم وحدة الخلية التي تشغله الذرات

= (حجم الذرات في وحدة الخلية) ÷ (حجم وحدة الخلية).

صندوق المعادلات:

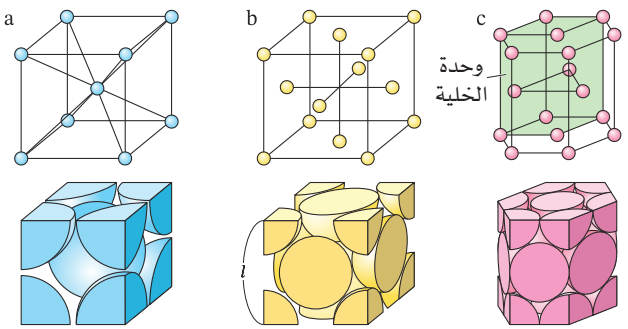
البنية	ذرات/خلية	العدد التناسقي	r مقابل a
BCC	2	8	$r=\frac{\sqrt{3}}{4}a$
FCC	4	12	$r=\frac{\sqrt{2}}{4}a$
HCP	2	12	–

تطبيق حياتي:

الأسلاك والأجهزة الكهربائية: تسمح البنية المكعبة مركزية الوجوه للنحاس للإلكترونات بالتدفق بحرية. وهذا يوفّر الموصلية الكهربائية والحرارية العالية الضرورية للأسلاك المنزلية، ولوحات الدوائر المطبوعة (PCB)، والحوسبة الحديثة.

مثال:

أجب عن الأسئلة التالية:



(أ) الأشكال (a ، b ، c) توضح تركيبات بلورات فلزية.

(i) ما اسم التركيب للبلوريتين لـ a وc؟

.....

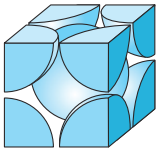
(ii) كم عدد الذرات الموجودة في وحدة خلية a؟

.....

(iii) في b، بفرض أن نصف القطر الذري r وطول ضلع الخلية الوحدة l، عبّر عن r بدلالة l.

.....

(ب) يوضح الشكل المقابل الشبكة البلورية للحديد. بفرض أن نصف قطر ذرة الحديد r [cm] وطول ضلع الشبكة البلورية في الشكل a [cm]، أجب عن الأسئلة التالية:



(i) عبّر عن r بدلالة a.

.....

(ii) أوجد كفاءة التعبئة لذرات الحديد. يمكنك وضع الجذور التربيعية في اعتبارك.

.....

(iii) أوجد كثافة ذرات الحديد (g/cm^3) افترض أن ثابت أفوجادرو NA (/mol). (Fe = 56)

.....

الشرح

(أ) (i) a: الشبكة المكعبة مركزية الجسم / c: بنية سداسية محكمة التراص.

(ii) 2

(iii) بنية b مكعبة مركزية الوجوه. لذلك $r = \frac{\sqrt{2}}{4} l$

(ب) (i) من الشكل، الشبكة البلورية للحديد مكعبة مركزية الجسم. $r = \frac{\sqrt{3}}{4} a$

(ii) كفاءة التعبئة = (حجم الذرات في وحدة الخلية) ÷ (حجم وحدة الخلية).

عدد الذرات لكل وحد خلية هو 2 وحجمها:

$$\frac{4\pi r^3}{3} \times 2 = \frac{4\pi \times \left(\frac{\sqrt{3}}{4} a\right)^3}{3} \times 2 = \frac{\sqrt{3}\pi a^3}{8} [cm^3]$$ وبما أن حجم الخلية الوحدة

$$\text{فإن كفاءة التعبئة} = \frac{\frac{\sqrt{3}\pi a^3}{8}}{a^3} = \frac{\sqrt{3}\pi}{8}$$

(iii) لإيجاد كثافة الذرات، نحدد كثافة وحدة الخلية.

الكثافة = كتلة وحدة الخلية ÷ حجم وحدة الخلية.

بما أن الكتلة المولية للحديد Fe هي (56 g/mol)، فإن كتلة ذرتي الحديد في وحدة الخلية:

$$\frac{56\ g/mol \times 2}{N_A[/mol]} = \frac{112}{N_A} [g]$$

وبما أن حجم الخلية الوحدة a^3 [cm^3] ، فإن الكثافة: $\frac{\frac{112}{N_A}}{a^3} = \frac{112}{a^3 N_A} [g/cm^3]$

الإجابة: $\frac{112}{a^3 N_A} [g/cm^3]$

تصميم نماذج بمواد منزلية: مكعبة مركزية الجسم (BCC) :

المواد: 9 كرات من الصلصال، أعواد أسنان.

الخطوات:

(١) ابنِ مكعبًا باستخدام 8 كرات صلصال عند الزوايا. 2

(٢) صل الزوايا باستخدام أعواد الأسنان.

(٣) ضع كرة صلصال واحدة في مركز المكعب.

(٤) لاحظ الترتيب من اتجاهات مختلفة.

التحقيق: عُدّ ذرات الزوايا؛ حدّد الذرة المركزية؛ حدّد العدد التناسقي.

يمكنك تصميم نموذج للمكعبة مركزية الوجوه (FCC) والسداسية المكتنزة (HCP) بنفس الإجراء.

.....

.....

.....

حاول بنفسك:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. بلورة معدنية لها عدد تناسق يساوي 8. ما هي البنية التي من المحتمل أن تكون عليها؟

(أ) FCC (ب) HCP

(جـ) BCC (د) بنية غير متبلورة

الإجابة: .....

٢. كل من البنيتين FCC و HCP لهما عدد تناسق يساوي:

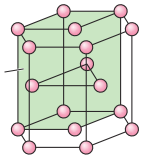
(أ) 6 (ب) 10

(جـ) 8 (د) 12

الإجابة: .....

٣. أجب عن الأسئلة التالية:

يوضح الشكل المقابل البنية البلورية لمعدن معين. أجب عن الأسئلة التالية:



(أ) ما اسم الشبكة البلورية لهذا المعدن؟

.....

(ب) ما العدد الإجمالي للذرات الموجودة في وحدة الخلية؟

.....

(جـ) ما هو عدد التناسق لذرة في هذه الشبكة؟

.....

(د) يطلق على المادة الصلبة التي تتراص جسيماتها بشكل منتظم، مثل المادة الصلبة المعدنية، اسم «بلورة». من ناحية أخرى، ما هو الاسم الذي يُطلق على المادة الصلبة ذات الترتيب غير المنتظم التي ليست بلورية؟

.....

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) اذكر الأنواع الثلاثة للشبكات البلورية الموجودة في البلورات المعدنية.

.....

(ب) من بين الأنواع الثلاثة المذكورة في (أ)، أي منها يحتوي على أكبر عدد من الذرات في وحدة الخلية؟

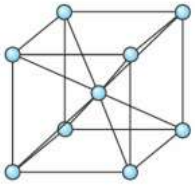
.....

(جـ) من بين الأنواع الثلاثة المذكورة في (أ)، أي منها يحتوي على أصغر عدد تناسق؟

واكتب عدد التناسق لهذه الشبكة.

.....

٢. الشكل المقابل هو البنية البلورية للحديد.



أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) في بلورة الحديد، ما العدد الإجمالي للذرات الموجودة في وحدة الخلية؟

.....

(ب) بافتراض أن طول ضلع وحدة الخلية للحديد يساوي a[cm]، عبّر عن نصف قطر ذرة الحديد بدلالة a. يمكنك ترك الجذور التربيعية في التعبير.

(جـ) عبّر عن كفاءة التعبئة للشبكة البلورية للحديد بدلالة π.

.....

(د) بافتراض أن كثافة الحديد تساوي d (g/cm^3)، عبّر عن كتلة ذرة حديد واحدة بدلالة a و d.

.....

(هـ) بافتراض أن ثابت أفوجادرو يساوي NA (/mol)، عبّر عن الكتلة الذرية النسبية للحديد بدلالة a و d و NA

.....

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيري.

.....

✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته.

.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في الاستكشافه.

.....

فكّر بشكل نقدي:

أنت مهندس مواد مكلّف بتصميم فلز لمركبة كهربائية خفيفة الوزن.

أي بنية بلورية تفضّل:

• BCC • FCC • HCP

الإجابة: .....

فسر اختيارك باستخدام:

• كفاءة التعبئة • العدد التناسقي.

الإجابة: .....

١-١٣ — بنية البلورات الأيونية:

مقدمة:

تحتوي كل حبة من ملح الطعام على مليارات من أيونات الصوديوم والكلوريد. تحمل هذه الأيونات شحنات مختلفة وتترابط معًا بجذب كهرو ستاتيكي قوي؛ لذا تتكون بلورات الملح في أشكال هندسية منتظمة مرئية للعين المجردة. في هذا الدرس نستكشف كيف يحدد ترتيب الأيونات داخل البلورة بنيتها واستقرارها وخصائصها الفيزيائية.

؟ سؤال توجيهي: كيف يحدد ترتيب الأيونات داخل بلورة بنيتها واستقرارها وخصائصها الفيزيائية؟

الاستكشاف

باستخدام كرات ملونة

- الأزرق = Na^+
- الأخضر = Cl^-

رتّب الأيونات بحيث يكون كل أيون محاطاً بأكبر عدد ممكن من الأيونات ذات الشحنة المخالفة.

استكشف: ما النموذج الذى يظهر؟ ولماذا لا تترتب الأيونات عشوائيًا؟

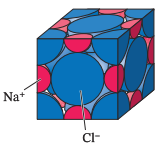
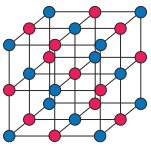
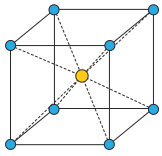
تعلم

بنية البلورات الأيونية

(أ) **البلورة الأيونية:** بلورة تتكون من كاتيونات وأنيونات مرتبطة ببعضها البعض بواسطة قوى كهروستاتيكية (روابط أيونية).

(ب) **عدد التناسق:** عدد الأيونات ذات الشحنة المخالفة التى تحيط مباشرة بأيون معين في بلورة أيونية.

(جـ) **أمثلة على التراكيب البلورية:** كلوريد الصوديوم (NaCl) وكلوريد السيزيوم (CsCl).

البلورة الأيونية	كلوريد الصوديوم NaCl	كلوريد السيزيوم CsCl
وحدة الخلية	 	
عدد الأيونات في الخلية الوحدة	$Na^+ : \frac{1}{4} \times 12 + 1 = 4$ $Cl^- : \frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$	$Cs^+ = 1$ $Cl^- : \frac{1}{8} \times 8 = 1$
العدد التناسقي	$Na^+ : 6 \quad Cl^- : 6$	$Cs^+ = 8 \quad Cl^- : 8$

صندوق المعادلات

الكمية	التعبير
الكثافة	(عدد الأيونات لكل خلية ÷ وحدات الصيغة) × كتلة الصيغة ÷ NA، والكل ÷ a^3 (حجم الخلية)
تلامس ضلع NaCl	$a = 2.r\,(Na^+) + 2.r\,(Cl^-)$
قطر جسم CsCl	$\sqrt{3}\,.a = 2.r\,(Cs^+) + 2.r\,(Cl^-)$

بنية العلم

حقيقة أساسية:

تعتمد خصائص البلورات الأيونية على الترتيب المنتظم ثلاثي الأبعاد للأيونات ذات الشحنة المختلفة داخل الشبكة البلورية.

المفاهيم الأساسية:

- البلورة.
- الشبكة البلورية.
- الكاتيون.
- الأنيون.
- الرابطة الأيونية.
- وحدة الخلية.
- عدد التناسق.
- نصف القطر الأيوني.

تطبيق عملي: الملح في حفظ الأغذية

الملح في حفظ الأغذية: يقلل الملح من كمية الماء المتاحة للكائنات الحية الدقيقة، مما يساعد في حفظ الأغذية ومنع تلفها. ويُعد فهم المركبات الأيونية وكيفية تفاعلها مع الماء أمرًا أساسيًّا في علم الأغذية وتقنيات حفظ الأغذية.

مثال:

يوضح الشكل الشبكة البلورية لكلوريد الصوديوم، طول الضلع 5.64×10^{-8} cm

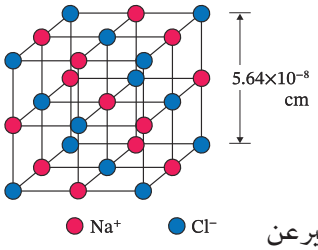
$(N_A = 6.0 \times 10^{23}$ /mol, $5.64^3 = 179$, Na = 23 , Cl = 35.5)

(أ) إذا كان نصف قطر أيون Na^+ هو 1.16×10^{-8} cm، أوجد نصف قطر أيون Cl^- (cm) (لثلاثة أرقام عشرية).

.....

(ب) أوجد كثافة بلورة NaCl (g/cm^3) (لأقرب رقمين عشريين).

.....



الشرح

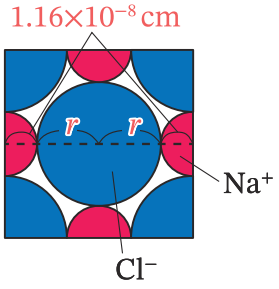
(أ) على طول الضلع حيث يتلامس أيون Na^+ وأيون Cl^-، يمكن التعبير عن طول ضلع وحدة الخلية كالتالي: $2 \times r\,[cm] + 2 \times 1.16 \times 10^{-8}$ cm

ومنها: $2 \times r\,[cm] + 2 \times 1.16 \times 10^{-8}\ cm = 5.64 \times 10^{-8}$ cm

$$r = 1.66 \times 10^{-8}\ cm$$

(ب) الكثافة $= \dfrac{\text{كتلة وحدة الخلية}}{\text{حجم وحدة الخلية}}$

تحتوي وحدة الخلية لكلوريد الصوديوم على أربعة أيونات Na^+ وأربعة أيونات Cl^-، أي ما يقابل أربع وحدات صيغ من NaCl.



كتلة 4 وحدات NaCl هي: $\dfrac{58.5\ g/\ mol}{6.0 \times 10^{23}/mol} \times 4 = \dfrac{39}{10^{23}}$ g

وبما أن حجم وحدة الخلية $(5.64 \times 10^{-8})^3\ cm^3$، فإن كثافة البلورة:

$$\frac{\frac{39}{10^{23}}\ g}{(5.64 \times 10^{-8})^3\ cm^3} = 2.17\ g/cm^3$$

حاول بنفسك:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. ما هي القوة الأساسية التي تربط البلورة الأيونية ببعضها البعض؟

(أ) الرابطة الهيدروجينية (ب) الرابطة الفلزية

(جـ) التجاذب الكهروستاتيكي بين الأيونات ذات الشحنة المعاكسة (د) قوى فاندرفالز

الإجابة: .....

٢. ما المقصود بعدد التناسق لأيون في بلورة أيونية؟

(أ) عدد الإلكترونات في الأيون. (ب) عدد الأيونات في وحدة الخلية.

(جـ) عدد الأيونات المشحونة المحيطة بهذا الأيون. (د) عدد الروابط التي يكونها الأيون.

الإجابة: .....

٣. الشكل المقابل يوضح وحدة الخلية لـ CsCl، حيث يتلامس Cs^+ و Cl^-

(لأقرب رقمين عشريين. طول الضلع $= 0.41$ nm / mol $\times 10^{23} = 6.0 = NA$; $\sqrt{3} = 1.7$

(Cl = 35.5, Cs = 133)

(Na = 23، Cl = 35.5)

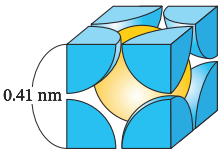
طبيعة العلم

طور العلماء نماذج بلورية باستخدام أدلة مستمدة من تجارب حيود الأشعة السينية والتحليل الرياضي والملاحظات التجريبية المتكررة.

(أ) إذا كان نصف قطر Cl^- يساوى 0.17 nm ، فأوجد نصف قطر Cs^+ (nm)

(ب) أوجد حجم 1 mole من بلورة CsCl (cm^3). علما بأن ($1.0\ nm = 1.0 \times 10^{-7}\ cm$)، ($4.1^3 = 69$)

(جـ) أوجد كثافة بلورة CsCl (g/cm^3)



الإجابة : .....

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:

يبلغ طول ضلع وحدة الخلية لبلورة كلوريد الصوديوم. 5.64×10^{-8} cm ($N_A = 6.0 \times 10^{23}/mol$)،

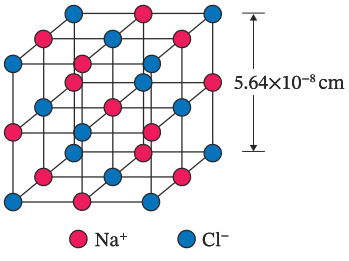
أجب عن الأسئلة التالية

(أ) ما عدد أيونات Na^+ و Cl^- في وحدة الخلية، على التوالي؟

(ب) ما الكتلة الإجمالية لـ NaCl في وحدة الخلية (gm)؟

(جـ) ما حجم وحدة الخلية (cm^3)؟ افترض أن (5.64^3) = 179

(د) احسب كثافة البلورة (g/cm^3) لأقرب رقمين عشريين.



فكّر بشكل نقدى:

يريد عالم مواد تطوير بلورة ذات استقرار عالٍ، وجذب أيونى قوي، ورصّ فعّال. باستخدام ما تعلمته عن بنى البلورات الأيونية:

- ما العوامل التى ينبغى مراعاتها؟

.....

- كيف يمكن أن يؤثر حجم الأيون على البنية البلورية؟

.....

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيري.

.....

✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته.

.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في الاستكشافه.

.....

سؤال الوحدة

اقرأ دراسة الحالة التالية، ثم أجب عن الأسئلة التالية:

تقوم إحدى المنظمات الإنسانية بتصميم صناديق تبريد محمولة لنقل اللقاحات إلى المجتمعات النائية التي لا تتوافر فيها الكهرباء. ويدرس فريق الهندسة ثلاث مواد لاستخدامها كمواد تبريد.

جدول البيانات

المادة	الكتلة المولية (g/mol)	حرارة الانصهار (kJ/mol)	حرارة التبخير (kJ/mol)	قوى التجاذب بين الجزيئات	درجة الغليان (°C)
ماء (H_2O)	18	6.0	41	رابطة الهيدروجين	100
كبريتيد الهيدروجين (H_2S)	34	2.4	18	ثنائي القطب – ثنائي القطب / فاندرفالز	−60
بروميد الهيدروجين HBr	81	2.2	17	ثنائي القطب – ثنائي القطب / فاندرفالز	−67

يجب أن يحافظ صندوق التبريد على درجة حرارة منخفضة لأطول فترة ممكنة مع الحفاظ في الوقت نفسه على سلامته وعمليته في أثناء النقل.

الجزء الأول:

- **تحليل البيانات**

حلل البيانات السابقة وحدد المادة التي ستمتص أكبر كمية من الطاقة في أثناء تغير الحالة من سائل إلى غاز.

.....

ادعم إجابتك باستخدام أدلة كمية مستمدة من الجدول.

.....

الجزء الثاني:

- **التفسير العلمي**

درجة غليان الماء أعلى بكثير من درجة غليان H_2S، على الرغم من أن الماء له كتلة مولية أقل.

اشرح هذه الملاحظة باستخدام القوى بين الجزيئات.

.....

الجزء الثالث:

- **التقييم**

يقول أحد المهندسين:

«يجب أن تتمتع المادة ذات الكتلة المولية الأكبر دائمًا بأعلى نقطة غليان لأن الجزيئات الأثقل تتطلب طاقة أكبر لفصلها».

باستخدام البيانات الواردة في الجدول وفهمك للقوى بين الجزيئات:

قم بتقييم صحة هذا الفرض.

في إجابتك:

- ناقش الأدلة التى تؤيد اجابتك.
- حدد أوجه القصور في هذا الفرض.
- قارن بين الكتلة الجزيئية والقوى بين الجزيئات كعوامل تؤثر على درجة الغليان.

الجزء الرابع:

- سؤال مقالي إلى أي مدى تعتبر قوة التجاذب بين الجزيئات أكثر أهمية من الكتلة الجزيئية في تحديد الخصائص الفيزيائية للمواد؟

باستخدام أدلة من دراسة الحالة وأمثلة من الوحدة، قم ببناء حجة علمية منطقية تتضمن:

- مقارنة بين الرابطة الهيدروجينية وقوى فاندرفالز.
- شرح تأثيرها على درجات الانصهار والغليان.
- مناقشة دور انتقال الطاقة في أثناء تغيرات الحالة.
- تصل إلى استنتاج منطقي مدعوم بالأدلة العلمية.

الفصل الثاني

التغيُّر والاتزان في المادة

١-٢ — التفاعلات الكيميائية وتغيرات الإنثالبي

مقدمة

تخيل أنك تمسك بكيس تبريد فوري بعد إصابة رياضية. بمجرد الضغط عليه يصبح باردًا فجأة دون أن يكون قد وُضع في الثلاجة. وفي حالة أخرى، تنبعث من نار المعسكر حرارة وضوء يُدفئان الناس في ليلة باردة. في هذا الدرس، سنستكشف كيف يتتبع الكيميائيون التغيرات في الطاقة أثناء التفاعلات الكيميائية، وكيف تؤثر عمليات نقل الطاقة غير المرئية على تشكيل العالم من حولنا.

؟ سؤال توجيهي: كيف يمكن للعلماء استخدام التغيرات في الطاقة في التفاعلات الكيميائية لتفسير الظواهر الفيزيائية والكيميائية والتنبؤ بها؟

الاستكشاف

تأمل الحالات التالية:

- احتراق الغاز الطبيعي في موقد المطبخ.
- إذابة نترات الأمونيوم في الماء داخل كيس التبريد.
- تبخر العرق من الجلد.

بدون دراسة هذا الدرس:

- ما هي العمليات التي تطلق طاقة؟ .....
- ما هي العمليات التي تمتص طاقة؟ .....

سجل أفكارك المبدئية وراجعها بعد دراسة تغيرات الإنثالبي.

تعلم

١. التفاعلات الكيميائية والإنثالبي:

(أ) **التفاعلات الكيميائية ونقل الحرارة:**

(i) التفاعل الطارد للحرارة: تفاعل يطلق حرارة إلى الوسط المحيط.

(ii) التفاعل الماص للحرارة: تفاعل يمتص الحرارة من الوسط المحيط.

(ب) **المحتوى الحراري / الإنثالبي:** كمية تمثل المحتوى الحراري (الطاقة) لمادة ما يُرمز له بالرمز (H). وحدة القياس هي الجول (الرمز: J).

(جـ) **المحتوى الحراري للتفاعل /إنثالبي التفاعل:** التغير في الإنثالبي أثناء التفاعل الكيميائي. يُرمز له بالرمز ΔH.

(د) **إشارة المحتوى الحراري للتفاعل / إشارة إنثالبي التفاعل**

تكون قيمة ΔH: **سالبة** للتفاعلات الطاردة للحرارة و**موجبة** للتفاعلات الماصة للحرارة.

التفاعلات الطاردة للحرارة تطلق حرارة.
التفاعلات الماصة للحرارة تمتص حرارة.

بنية العلم

الحقائق الاساسية:

التفاعلات الطاردة للحرارة تطلق الحرارة إلى الوسط المحيط.
- أما التفاعلات الماصة للحرارة فإنها تمتص الحرارة من الوسط المحيط.
- إنثالبي الاحتراق يكون دائمًا سالبًا.

المفاهيم الرئيسية:

- التفاعل الكيميائي
- انتقال الحرارة
- الإنثالبي (H)
- تغير الإنثالبي (ΔH)
- التفاعل الطارد للحرارة
- التفاعل الماص للحرارة
- إنثالبي الاحتراق
- إنثالبي التكوين
- إنثالبي الذوبان
- إنثالبي التعادل

الاستكشاف التغيرات في الطاقة:

يُشاهد الطلاب تجربتين آمنتين:

التجربة A

إذابة كلوريد الكالسيوم في الماء.

التجربة B

إذابة نترات الأمونيوم في الماء.

على الطلاب:

- قياس درجة الحرارة قبل الذوبان وبعده.
- ما هي نتائج ملاحظاتكم؟ .....
- صنفوا كل عملية إلى طاردة للحرارة أو ماصة للحرارة. .....
- استنتجوا اتجاه انتقال الطاقة. .....

سؤال البحث:

ما الدليل الذي يسمح للعلماء باستنتاج أن الطاقة قد دخلت النظام أو خرجت منه؟

.....

٢. التعبير عن المحتوى الحراري للتفاعل:

١ اكتب المعادلة الكيميائية.

٢ اكتب **الحالة الفيزيائية** للمادة بعد الصيغة الكيميائية.

ملاحظة: في حالة وجود ظاهرة التآصل، **اكتب اسم المادة**.

مثال: C (الجرافيت)

٣ اجعل معامل المادة المراد دراستها يساوي **1**.

٤ اكتب ΔH **بعد معادلة التفاعل**.

مثال: تفاعل احتراق 1mole من الهيدروجين H_2 لينتج الماء H_2O

(الإنثالبي للتفاعل يساوي 286−)

١. $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

٢. $2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$

٣. $H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$

٤. $H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)} \quad \Delta H = -286\ kJ/mol$

فكّر بشكل نقدي:

تعلن إحدى الشركات: «الوقود الجديد الذي ننتجه يطلق حرارة تبلغ ضعف ما يطلقه الوقود العادي، ولذلك فهو دائمًا أفضل للبيئة». الادعاء – الدليل – الاستدلال

يقوم الطلاب بتقييم ما يلي:

- هل هذا الادعاء صحيح علميًّا؟ .....
- ما الدليل الناقص؟ .....
- هل يعني إطلاق طاقة أعلى دائمًا استدامة أفضل؟ .....

أنواع تغيرات المحتوى الحراري (الإنثالبي) للتفاعل:

(أ) التغير في المحتوى الحراري أثناء تغير الحالة الفيزيائية:

عندما تتغير الحالة الفيزيائية للمادة، يتغير محتواها الحراري.

يُعرَّف المحتوى الحراري لتغير الحالة بأنه التغير في المحتوى الحراري عندما يتحول **1 mole** من المادة من حالة فيزيائية لأخرى.

(ب) المحتوى الحراري للاحتراق: / إنثالبي الاحتراق:

هو التغير في المحتوى الحراري للتفاعل عند احتراق 1 mol من المادة احتراقًا تامًّا. وتكون قيمته دائمًا **سالبة**.

نظرًا لأن الحرارة تنطلق خلال هذا التفاعل.

(جـ) المحتوى الحراري للذوبان / إنثالبي الذوبان:

هو التغير في المحتوى الحراري الناتج من ذوبان 1 mol من المادة تمامًا في وفرة من المذيب.

- يُعبر عن ذوبان المادة في الماء باستخدام الرمز (aq) (محلول مائي)، والذي يعبر عن وفرة من الماء.
- مثال: المحتوى الحراري لذوبان هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) هو −44.5 kJ/mol

$$NaOH_{(s)} \rightarrow NaOH_{(aq)}\ ,\ \Delta H = -44.5\ kJ/mol$$

(د) المحتوى الحراري للتعادل / إنثالبي التعادل:

هو التغير في المحتوى الحراري للتفاعل عندما يتفاعل حمض مع قاعدة لتكوين 1 mol من الماء.

(هـ) المحتوى الحراري للتكوين / إنثالبي التكوين:

هو التغير في المحتوى الحراري للتفاعل عندما يتكون 1 mol من مركب ما من عناصره الأولية (الأساسية) في أكثر حالاتها استقراراً تحت الظروف القياسية.

كن مواطنًا عالميًا

فهم تغيرات الإنثالبي يساعد العلماء على تصميم وقود أنظف، وتحسين تقنيات البطاريات، وتطوير عمليات صناعية فعالة، وتقليل استهلاك الطاقة العالمي. تعتمد العديد من مبادرات الاستدامة الحديثة على التحكم في نقل الطاقة في التفاعلات الكيميائية.

أنواع المحتوى الحراري في لمحة:

النوع	يُعرَّف لكل...	الإشارة
الاحتراق	1 mol من المادة يحترق بالكامل	دائمًا سالبة
الذوبان	1 mol يذوب في وفرة من المذيب	±
التعادل	1 mol ماء يتكون من (حمض قوي + قاعدة قوية)	سالبة
التكوين	1 mol مركب يتكون من عناصر	±
تغير الحالة	1 mol يتحول من حالة فيزيائية لأخرى	±

تطبيق حياتي:

الكمادات الساخنة والباردة الفورية:

تعتمد على تغيرات إنثالبي محددة. تستخدم الكمادة الساخنة الفورية تفاعلاً طاردًا للحرارة (مثل الماغنسيوم والماء أو مزيج من الحديد والكربون ومزيج من الأملاح عند الضغط على الكيس أو تكسيره)، مما يؤدي إلى إطلاق الحرارة إلى الوسط المحيط. أما الكيس البارد فيعتمد على تفاعل ماص للحرارة (مثل إذابة نترات الأمونيوم في الماء)، مما يؤدي إلى امتصاص الحرارة وتبريد بشرتك.

مثال:

أجب عن الأسئلة الآتية:

(أ) اشرح ما الذي تمثله ΔH في المعادلة الكيميائية التالية:

حدد جميع المواد وأنواع التغير الحراري / الإنثالبي التي يمكن وصفها بقيمة ΔH لهذا التفاعل.

$$C(\text{graphite}) + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \quad \Delta H = -394 \text{ kJ.}$$

(ب) عبّر عن التغيرات الكيميائية أو تغيرات الحالة التالية بمعادلات كيميائية حرارية.

(i) احتراق 1 mol من الإيثان C_2H_6 احتراقًا تامًّا، انطلاق طاقة حرارية مقدارها 1562 kJ.

(ii) تبخر 9.0 g من الماء، عند امتصاصها كمية من الحرارة 22 kJ من الوسط المحيط $(H = 1.0 ، O = 16)$

الشرح

(أ) المادة المعنية في المعادلة الكيميائية لها دائمًا معامل يساوي 1.

أولاً، بما أن 1 mol من الجرافيت يتفاعل مع الأكسجين، يمكن اعتباره احتراقًا تامًّا للجرافيت. في هذه الحالة، تمثل ΔH إنثالبي احتراق الجرافيت.

كذلك، هذا تفاعل يتكون فيه 1 mol من ثاني أكسيد الكربون من الكربون (الجرافيت) والأكسجين، لذا في هذه الحالة، تمثل ΔH إنثالبي تكوين ثاني أكسيد الكربون.

بناءً على ما سبق، تمثل قيمة ΔH . إنثالبي احتراق الجرافيت وإنثالبي تكوين ثاني أكسيد الكربون معًا.

(ب) اكتب وفقًا للخطوات التالية:

(i) ❶ اكتب المعادلة الكيميائية.

$$2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2 + 6H_2O$$

❷ اكتب الحالة الفيزيائية للمادة بعد الصيغة الكيميائية.

$$2C_2H_{6(g)} + 7O_{2(g)} \rightarrow 4CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)}$$

❸ بما أنه يمثل تفاعل 1 mol من الإيثان، اجعل معامل C_2H_6 يساوي 1.

$$C_2H_{6(g)} + \frac{7}{2} O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 3H_2O_{(l)}$$

❹ اكتب ΔH بعد معادلة التفاعل.

مع ملاحظة أن إنثالبي الاحتراق سالب، فإن إنثالبي احتراق 1 mol من الإيثان هو -1562 kJ/mol

$$C_2H_{6(g)} + \frac{7}{2} O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 3H_2O_{(l)} \quad \Delta H = -1562 \text{ kJ/mol}$$

(ii) ❶❷ اكتب معادلة التفاعل.

$$H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(g)}$$

❸❹ بما أن معامل H_2O يساوي 1، اكتب ΔH بعد معادلة التفاعل.

لاحظ هنا أن إنثالبي التفاعل يُعبَّر عن كل 1 mol من المادة المعنية.

كمية المادة لـ 9.0 g من الماء هي: $\frac{9.0 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}}$

لذلك، بما أن الحرارة الممتصة عند تبخر 0.50 mol من الماء هي 22 kJ،

فإن إنثالبي التفاعل عند تبخر 1 mol من الماء هو 44 KJ/mol، تصبح المعادلة:

$$H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(g)} \quad \Delta H = 44 \text{ kJ/mol}$$

نشاط تفسير البيانات:

تحليل البيانات التجريبية

المادة المذابة	درجة الحرارة الابتدائية (°C)	درجة الحرارة النهائية (°C)
NaOH	25	34
NH_4NO_3	25	18

فكّر كعالم كيميائي:

١. أي عملية طاردة للحرارة؟ .....

٢. أي عملية ماصة للحرارة؟ .....

٣. ما الدليل الذي يدعم استنتاجك؟ .....

٤. أي عملية لها $\Delta H > 0$؟ .....

حاول بنفسك:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. حدد نوع التغير الحراري (إنثالبي التفاعل) الذي تمثله ΔH، والمادة التي تعبر عنها.

(أ) $HCl_{(aq)} + KOH_{(aq)} \rightarrow KCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$ ، $\Delta H = -56\ kJ$

(ب) $C_2H_{6(g)} + \frac{7}{2} O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 3H_2O_{(l)}$ ، $\Delta H = -1562\ kJ$

٢. عبِّر عن التغيرات التالية بمعادلات كيميائية حرارية. ($H = 1.0$ ، $N = 14$ ، $O = 16$)

(أ) احتراق 1 mol من الميثان CH_4 احتراقًا تامًّا وينتج ثاني أكسيد كربون وماء، تنطلق طاقة حرارية مقدارها 891 kJ

(ب) احتراق 1 mol من الهيدروجين H_2 لإنتاج بخار ماء، تنطلق طاقة حرارية مقدارها 242 kJ

(جـ) إمرار بخار ماء على 1 mol من الجرافيت لينتج أول أكسيد الكربون وغاز الهيدروجين بامتصاص طاقة 131 kJ

(د) ذوبان 4.0 g من نترات الأمونيوم NH_4NO_3 في وفرة من الماء وامتصاص طاقة حرارية 1.3 kJ

الإجابة: .....

٣. عبِّر عن تغيرات الحالة التالية بمعادلات كيميائية حرارية.

(أ) التغير الحراري المصاحب لتبخُّر البروم 31 kJ/mol

(ب) التغير الحراري لتكاثف الإيثانول C_2H_5OH −39kJ/mol

تدرب:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. لماذا يكون إنثالبي الاحتراق دائمًا سالبًا؟

(أ) لا تحتوي النواتج على أي طاقة.

(ب) الاحتراق يمتص الحرارة.

(جـ) يصاحبه انطلاق حرارة للوسط المحيط.

(د) يستهلك الأكسجين.

الإجابة: .....

٢. أي مما يلي يعبر عن التغير الحراري لتفاعل حمض مع قاعدة لتكوين ماء؟

(أ) حرارة التكوين.

(ب) حرارة الاحتراق.

(جـ) حرارة الإذابة.

(د) حرارة التعادل.

الإجابة: .....

٣. حدد نوع التغير الحراري لكل من التفاعلات التالية والذي تمثله ΔH في المعادلة الكيميائية، وحدد المادة التي يشير إليها.

(أ) $HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} \quad \Delta H = -56\ kJ$

(ب) $CO_{(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \quad \Delta H = -283\ kJ$

الإجابة: .....

٤. عبّر عن كل التغير الحراري لكل مما يلي بمعادلة كيميائية حرارية. $(H = 1.0 ، O = 16 ، Na = 23)$

(أ) احتراق 1 mol من الماس احتراقًا تامًّا و انطلاق طاقة حرارية 395kJ

(ب) ذوبان 1.0 g من هيدروكسيد الصوديوم NaOH في وفرة من الماء، و انطلاق طاقة حرارية 4.5 kJ

(جـ) تكون 1 mol من أكسيد النيتريك NO من تفاعل النيتروجين N_2 والأكسجين O_2، بامتصاص 90kJ من الحرارة.

الإجابة: .....

٥. عبّر عن تغيرات الحالات التالية بمعادلات كيميائية حرارية.

(أ) التغير الحراري لتبخّر الإيثانول C_2H_5OH هو 39 kJ/mol

(ب) التغير الحراري لتسامي اليود هو 62 kJ/mol

الإجابة: .....

تحدَّ تفكيرك:

التغير الحراري لتفاعل كيميائي: $\Delta H = -250\ kJ$

يقول أحد الطلاب: «التفاعل امتص طاقة حرارية مقدارها 250 kJ لأن مقدارها كبير»

قيّم هذا الافتراض.

- هل التفسير صحيح؟ .....
- ماذا تستنتج من إشارة ΔH ؟ .....
- كيف سيتأثر الوسط المحيط؟ .....
- استخدم دليلاً علميًا لفسير إجابتك. .....

٢-٢ — قانون هس

مقدمة

في الكيمياء، يمكن أن تسير التفاعلات عبر مسارات مختلفة – والمثير للدهشة أن إجمالي التغير في الطاقة يظل ثابتًا بغض النظر عن المسار المتبع. في هذا الدرس، نستكشف كيف يحدد الكيميائيون التغيرات المجهولة في الطاقة باستخدام قانون هس.

؟ سؤال توجيهي: كيف يمكن للعلماء تحديد تغير الطاقة لتفاعل لا يمكن قياسه مباشرة؟

الاستكشاف

قام مجموعة من الطلاب بدراسة ثلاثة تفاعلات: $A \rightarrow C$ • $B \rightarrow C$ • $A \rightarrow B$:

• هل يمكن التنبؤ بـ $\Delta H\,(A \rightarrow C)$ من التفاعلين الآخرين؟ .....

• ما الدليل الذي يدعم استنتاجك؟ .....

تعلم

١. قانون هس

(أ) **قانون هس:** ينص على أنه إذا تم تحديد الحالة الابتدائية والنهائية لتفاعل ما، فإن إنثالبي التفاعل الكلي يكون ثابتًا، بغض النظر عن مسار التفاعل.

(ب) **حساب إنثالبي التفاعل باستخدام قانون هس:**

❶ اجعل الإنثالبي المطلوب يساوي X [kJ/mol] واكتب معادلة التفاعل المطلوب.

❷ اكتب جميع المعادلات الكيميائية للتفاعلات المعطى إنثالبيات تفاعلها.

❸ اربط بين المعادلات الكيميائية المكتوبة في ❷ لتحصل على المعادلة الكيميائية المطلوبة في ❶.

❹ احسب انثالبي التفاعل المطلوب

مثال: إذا علمت أن إنثالبي احتراق الجرافيت C تساوي 394kJ/mol– وإنثالبي احتراق أول أكسيد الكربون CO تساوي 283kJ/mol–، فأوجد إنثالبي تكوين أول أكسيد الكربون.

❶ اجعل إنثالبي التكوين المطلوبة X [kJ/mol]، واكتب المعادلة الكيميائية الحرارية التي تمثل تكوّن أول أكسيد الكربون CO:

$$C(\text{graphite}) + \tfrac{1}{2}\,O_{2(g)} \rightarrow CO_{(g)} \quad \Delta H = x\ [\text{kJ/mol}]$$

مُعبّرًا عنها بحيث يكون معامل CO يساوي 1

❷ اكتب المعادلات الكيميائية الحرارية لاحتراق كل من الكربون (الجرافيت) وأول أكسيد الكربون (CO)، اللذين أُعطيت قيم الإنثالبي لتفاعليهما

$$C(\text{graphite}) + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \quad \Delta H = -394\ \text{kJ} \quad \text{.....(i)}$$

$$CO_{(g)} + \tfrac{1}{2}\,O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \quad \Delta H = -283\ \text{kJ} \quad \text{.....(ii)}$$

❸ اجمع المعادلتين الكيميائيتين ❷ للحصول على المعادلة ❶:

في معادلة ❶: عنصر الكربون في الطرف الأيسر للتفاعل

• ومعامله = 1، لذلك نأخذ معادلة (i) كما هي و بنفس الاتجاه.

CO في المعادلة المطلوبة معامله = 1 و يقع في الطرف الأيمن للتفاعل، ولكنه يقع في الطرف الأيسر للمعادلة (ii)، و معامله = 1.

لذلك يجب علينا عكس اتجاه المعادلة.

عندما يُعكس تفاعل، تُعامل معادلته على أنها مطروحة.

• لذلك، عند حساب (i) – (ii) يعطي المعادلة الكيميائية المطلوبة.

$$C(\text{graphite}) + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$$

$$CO_{2(g)} \rightarrow CO_{(g)} + \tfrac{1}{2}\,O_{2(g)}$$

$$C(\text{graphite}) + O_{2(g)} + CO_{2(g)}$$

$\tfrac{1}{2}\,O_2$ متبقي

$$\rightarrow CO_{2(g)} + CO_{(g)} + \tfrac{1}{2}\,O_{2(g)}$$

$$\Rightarrow C(\text{graphite}) + \tfrac{1}{2}\,O_{2(g)} \rightarrow CO_{(g)}$$

بنية العلم

حقيقة أساسية:

إن التغير الكلي في الإنثالبي للتفاعل مقدار ثابت بغض النظر عن المسار المتبع بين المواد المتفاعلة والنواتج.

المفاهيم الأساسية:

- تغير الإنثالبي (ΔH)
- قانون هس
- إنثالبي التكوين
- إنثالبي الاحتراق
- إنثالبي الرابطة
- المعادلات الحرارية الكيميائية

القانون العلمي

قانون هس – التغير الكلي في الإنثالبي لا يتأثر بمسار التفاعل.

❹ احسب إنثالبي التفاعل بنفس طريقة التحويل التي تمت في ❸:

X = [إنثالبي تفاعل معادلة (i)] − [إنثالبي تفاعل معادلة (ii)]

$x = -394 - (-283) = -111$ [kJ]

مما سبق، إنثالبي تكوين CO هي −111 kJ/mol

(جـ) طاقة الرابطة (إنثالبي الرابطة):

هي الطاقة اللازمة لكسر الروابط التساهمية داخل جزيء. تُعبر كقيمة لكل 1 mol من الروابط في الجزيء.

في الجزيء الواحد، إذا كان هناك روابط متعددة بين الذرات، فإن إنثالبي الرابطة تمثل الطاقة اللازمة لكسر جميع الروابط.

مثال: التفاعل الذي يحوّل الميثان CH_4 إلى ذرة كربون وذرات هيدروجين:

$$CH_{4(g)} \rightarrow C_{(g)} + 4H_{(g)}$$

إنثالبي الرابطة لهذا التفاعل هي طاقة كسر 4 روابط C–H.

أدوات أساسية =

الأداة	القاعدة
عكس تفاعل	غيِّر إشارة ΔH (اطرحها)
ضرب تفاعل في n	اضرب ΔH في n
من طاقات الروابط (إنثالبيات الروابط)	$\Delta H = \Sigma$ (طاقات تكوين الروابط) − Σ (طاقات كسر الروابط)
من حرارات التكوين (أو من إنثالبيات التكوين)	$\Delta H = \Sigma \Delta H_f$ نواتج − $\Sigma \Delta H_f$ متفاعلات

فلسفة العلم

يوضح قانون هس ما يلي:

- **الموضوعية:** يحصل علمـــاء مختلفون على نفس قيمة ΔH عند استخدام البيانات نفسها.
- **التراكمية:** استند قانون هس إلى أعمال سابقة تتعلق بقانون بقاء الطاقة لتطوير طريقة أكثر فعالية لحساب إنثالبيات التفاعلات.

مثال:

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) احسب حرارة التكوين البروبان C_3H_8 [kJ/mol]، علمًا بأن حرارة احتراق الجرافيت، والهيدروجين، والبروبان هي −394kJ/mol ، −286kJ/mol ، −2219 kJ/mol ، على الترتيب.

(ب) باستخدام المعادلات الكيميائية الحرارية التالية، احسب طاقة الرابطة (إنثالبي الرابطة) O–H [kJ/mol]، وقرِّب إجابتك لأقرب عدد صحيح.

$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(g)}$ $\quad \Delta H = -242$ kJ

$H_{2(g)} \rightarrow 2H_{(g)}$ $\quad \Delta H = 436$ kJ

$O_{2(g)} \rightarrow 2O_{(g)}$ $\quad \Delta H = 498$ kJ

الشرح

(أ) ❶ اكتب المعادلة الكيميائية الحرارية لتكوين البروبان C_3H_8. مع فرض أن X [kJ/mol] إنثالبي تكوين البروبان.

$3C(graphite) + 4H_{2(g)} \rightarrow C_3H_{5(g)}$ $\quad \Delta H = x$ [kJ]

❷ اكتب المعادلات الكيميائية الحرارية وتغيرات الإنثالبي لتفاعلات احتراق المواد التي أُعطيت قيم إنثالبياتها:

$$C(graphite) + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \qquad \Delta H = -394\ kJ \quad .....(i)$$

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -286\ kJ \quad .....(ii)$$

$$C_3H_{8(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 3CO_{2(g)} + 4H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -2219\ kJ .....(iii)$$

❸ اجمع المعادلات المكتوبة في ❷ للحصول على المعادلة ❶. باستخدام العلاقة:

$$(i) \times 3 + (ii) \times 4 - (iii)$$

❹ احسب إنثالبي التفاعل بنفس العلاقة المشتقة في ❸:

$$x = \{-394 \times 3 + (-286) \times 4\} - (-2219) = -107$$

لذلك، إنثالبي التكوين المطلوبة هي $-107\ kJ/mol$

(ب) ❶ أفترض أن $X\ [kJ/mol]$ تمثل إنثالبي الرابطة.

$$H_2O_{(g)} \rightarrow 2H_{(g)} + O_{(g)} \qquad \Delta H = x\ [kJ]$$

❷ اكتب المعادلات الكيميائية وتغيرات الإنثالبي المقابلة لها:

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(g)} \qquad \Delta H = -242\ kJ \quad .....(i)$$

$$H_{2(g)} \rightarrow 2H_{(g)} \qquad \Delta H = 436\ kJ \quad .....(ii)$$

$$O_{2(g)} \rightarrow 2O_{(g)} \qquad \Delta H = 498\ kJ \quad .....(iii)$$

❸ يمكن الحصول على معادلة ❶ باستخدام العلاقة:

$$(ii) + (iii) \times \frac{1}{2} - (i)$$

❹ باستخدام نفس العلاقة من ❸: $436 + 249 + 242 = 927\ kJ$

بما أن H_2O يحتوي على رابطتي O–H، فإن إنثالبي الرابطة هي:

$$927\ kJ \times \frac{1}{2} = 463.5\ kJ \approx 464\ kJ$$

تحدَّ تفكيرك:

تحدث كثير من التفاعلات الصناعية عند درجات حرارة وضغوط تجعل قياس الإنثالبي مباشرةً أمرًا صعبًا.

كيف يمكن لقانون هس أن يساعد في تقدير تغيرات الطاقة قبل بناء مصنع كيميائي واسع النطاق؟

.....

.....

حاول بنفسك:

اختر الإجابة الصحيحة:

بمعلومية قيم حرارة التكوين التالية:

$CO_{2(g)}$: $-394\ kJ/mol$ $H_2O_{(l)}$: $-286\ kJ/mol$ $C_2H_5OH_{(l)}$: $-277\ kJ/mol$

(أ) اكتب المعادلة الكيميائية التي تمثل احتراق الإيثانول، مع تحديد الحالات الفيزيائية.

الإجابة: .....

(ب) احسب حرارة احتراق الإيثانول لأقرب عدد صحيح.

الإجابة: .....

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. المبدأ العلمي الذي يقوم عليه قانون هس هو

(أ) بقاء الكتلة (ب) بقاء الطاقة

(جـ) مبدأ لو شاتيلييه (د) قانون بويل

الإجابة: .....

٢. أي العبارات التالية تصف قانون هس بأفضل شكل؟

(أ) يعتمد الإنثالبي على معدل التفاعل

(ب) يعتمد الإنثالبي على نوع العامل الحفاز

(جـ) يعتمد التغير الكلي في الإنثالبي فقط على الحالتين الأولية والنهائية

(د) يعتمد الإنثالبي على مسار التفاعل.

الإجابة: .....

٣. اكتب معادلة احتراق الإيثان $C_2H_{6(g)}$ موضحًا التغير الحراري باستخدام المعطيات التالية:

$C(graphite) + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$ $\quad \Delta H = -394\ kJ$ .....(i)

$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$ $\quad \Delta H = -286\ kJ$ .....(ii)

$2C(graphite) + 3H_{2(g)} \rightarrow C_2H_{6(g)}$ $\quad \Delta H = -84\ kJ$ .....(iii)

الإجابة: .....

٤. احسب ΔH للتفاعل التالي:

$$H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(g)}$$

علمًا بأن:

- إنثالبي الرابطة $H-H = 436\ kJ/mol$
- إنثالبي الرابطة $O=O\ 498\ kJ/mol$
- إنثالبي الرابطة $O-H = 463\ kJ/mol$

تحدَّي طريقة تفكيرك:

$C(graphite) + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$ $\quad \Delta H = -394\ kJ$

$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$ $\quad \Delta H = -286\ kJ$

$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$ $\quad \Delta H = -891\ kJ$

احسب إنثالبي تكوين الميثان:

$$C(graphite) + 2H_{2(g)} \rightarrow CH_{4(g)}$$

اشرح كل خطوة باستخدام قانون هس.

.....

.....

فكر وتأمل

أكمل:

✓ فكرة واحدة غيرت طريقة تفكيري

.....

✓ تطبيق واحد في الحياة الواقعية اكتشفته

.....

✓ سؤال واحد ما زلت أرغب في الاستكشافه

.....

٢-٣ — الخلية الكهروكيميائية (١) (خلية دانيال)

مقدمة

تخيل أن انقطاعًا للتيار الكهربائي يحدث فجأة في مدينتك. خلال ثوانٍ، يعتمد ملايين الأشخاص على البطاريات والمولدات وأنظمة الطاقة الاحتياطية للحفاظ على عمل المستشفيات وشبكات الاتصال والنقل. لكن من أين تأتي هذه الطاقة الكهربائية؟

من المدهش أن الكهرباء يمكن إنتاجها من خلال تفاعلات كيميائية بسيطة تتضمن معادن وأيونات. تعتمد كل بطارية، من بطارية الهاتف الذكي إلى المركبة الكهربائية، على نفس الأساس العلمي.

في هذا الدرس، سنتعرف على كيفية تحويل التفاعلات الكيميائية إلى طاقة كهربائية وكيف تعمل الخلايا الكهروكيميائية على تزويد التكنولوجيا الحديثة بالطاقة.

سؤال توجيهي: كيف يمكن استخدام تفاعل كيميائي تلقائي لتوليد طاقة كهربائية تستخدم في تشغيل الأجهزة والتقنيات التي نستخدمها يوميًّا؟

بنية العلم

حقيقة أساسية:

تحول الخلية الكهروكيميائية الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية من خلال تفاعل أكسدة واختزال تلقائي يحدث فيه الأكسدة عند الأنود والاختزال الكاثود.

المفاهيم الأساسية:

- الخلية الكهروكيميائية
- القطب الموجب
- القطب السالب
- القوة الدافعة الكهربائية (EMF)
- خلية دانيال

الاستكشاف

المواد:

- ليمون، أو بطاطس، أو برتقالة.
- مسمار مجلفن (مطلي بالزنك).
- مصباح LED صغير.
- عملة نحاسية أو شريحة نحاس.
- أسلاك توصيل.

الإجراء:

١. ضع مسمار الزنك وشريحة النحاس في الفاكهة.

٢. صل الأسلاك بكلا المعدنين.

٣. لاحظ. هل تتولد طاقة كهربية.

٤. جرِّب فواكه مختلفة وقارن النتائج.

أسئلة استقصائية:

- أي فاكهة تُنتج أعلى جهد؟

.....

- هل يؤثر تغيير معادن الأقطاب على النتائج؟

.....

- ما الدليل الذي يشير إلى حدوث تفاعل أكسدة واختزال؟

.....

تعلم

١. الخلية الكهروكيميائية

(أ) **الخلية الكهروكيميائية:** جهاز يحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية والعكس من خلال تفاعل أكسدة واختزال.

- يُطلق على القطب الذي تنطلق منه الإلكترونات (e^-) اسم الأنود (−)، أما القطب الذي يستقبلها فيُطلق عليه اسم الكاثود (+)

(ب) متسلسلة الجهود الكهربائية للفلزات: ترتيب الفلزات حسب جهد أكسدتها (أو قابليتها للأكسدة).

$K > Na > Ca > Mg > Al > Zn > Fe > Ni > Sn > Pb > (H) > Cu > Hg > Ag > Au > Pt$

(جـ) **القوة الدافعة الكهربائية (EMF):** الجهود الكهربائية (فرق الجهد) بين الأنود والكاثود. كلما زادت المسافة بين الفلزين في متسلسلة النشاط، زادت القوة الدافعة الكهربائية.

(د) **الرمز الاصطلاحي للخلية:** « كاثود (+) | محلول إلكتروليت مائي | أنود (−)».

شكل 2.3.1 : عينات من المعادن

٢. خلية دانيال

خلية جلفانية تتكون من قطب من الخارصين (زنك) مغمورة في محلول كبريتات الزنك المائي ($ZnSO_4$)، وقطب من النحاس مغمورة في محلول كبريتات النحاس (II) المائي ($CuSO_4$).

يفصل نصفي الخلية بوعاء مسامي ويوصل القطبين بسلك توصيل.

(أ) **رمز الخلية:** $(-)\ Zn \mid Zn^{2+}_{(aq)} \mid Cu^{2+}_{(aq)} \mid Cu\ (+)$

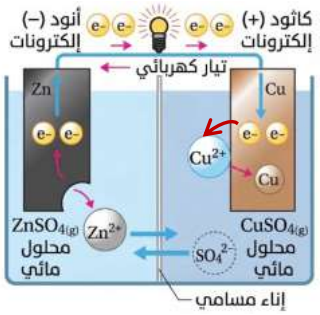
(ب) **التفاعلات عند الأقطاب:**

المصعد (الأنود): $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$

المهبط (الكاثود): $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

(جـ) الخصائص:

أثناء التفريغ، تنتقل أيونات Zn^{2+} من جانب $ZnSO_4$ وأيونات SO_4^{2-} من جانب $CuSO_4$ عبر الوعاء المسامي إلى المحلول المقابل.



شكل 2.3.2 : خلية دنيال

مرجع سريع

القطب	الإشارة	العملية
المصعد (الأنود)	−	أكسدة – يُطلق إلكترونات $(Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-)$
المهبط (الكاثود)	+	اختزال – يستقبل إلكترونات $(Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu)$

تطبيق حياتي

تعمل كل بطارية في هاتف ذكي أو حاسوب محمول أو ساعة ذكية أو مركبة كهربائية وفق أساسيات كهروكيميائية مشابهة لتلك الموجودة في خلية دانيال.

يساعد فهم الخلايا الكهروكيميائية العلماء على تطوير:

- بطاريات أطول عمرًا
- أنظمة شحن أسرع
- تقنيات تخزين طاقة أكثر استدامة

كن مواطنًا عالميًا

تلعب الخلايا الكهروكيميائية دوراً رئيسياً في التنمية المستدامة. فهي تُستخدم في السيارات الكهربائية، وتخزين الطاقة المتجددة، والأجهزة الطبية المحمولة، وأنظمة الطاقة في حالات الطوارئ، وتقنيات الأقمار الصناعية. ويمكن للتطورات في تكنولوجيا البطاريات أن تقلل من الاعتماد على الوقود الحفري وتدعم أهداف الاستدامة العالمية.

مثال:

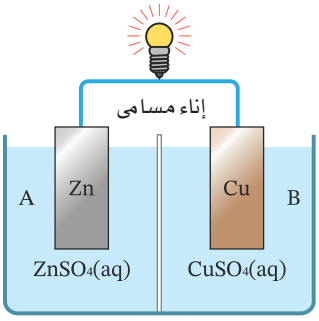
الشكل المقابل يعبر عن مخطط لخلية دانيال.

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) عبّر عن التفاعلات الحادثة عند الأنود (−) والكاثود (+) على التوالي، باستخدام معادلات أيونية تحتوي على إلكترونات (e^-).

(ب) لزيادة زمن التفريغ، ما الذي ينبغي أن تكون عليه التركيزات الابتدائية للمحاليل المائية A وB؟ أجب باستخدام مصطلح «تركيز عالٍ» أو «تركيز منخفض».

فسر اجابتك بالتركيز على ‹زيادة أو نقصان الأيونات› عند كل قطب.



الشرح

(أ) **المصعد (الأنود):** $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$

المهبط (الكاثود): $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

(ب) **[شرط التركيز]**

نجعل تركيز المحلول المائي $(ZnSO_4)$ (A) منخفضًا، ونجعل تركيز المحلول المائي $(CuSO_4)$ (B) عاليًا.

[السبب]

عند المصعد (الأنود)، تتكون أيونات Zn^{2+} مع مرور الزمن واستمرار التفاعل. بالبدء بتركيز منخفض من محلول $ZnSO_4$، يستغرق المحلول وقتًا أطول ليصل إلى التشبع، مما يسمح بذوبان مزيد من الزنك. في المقابل، عند المهبط (الكاثود) تُستهلك أيونات Cu^{2+} ولذلك باستخدام تركيز عالٍ من محلول $CuSO_4$ في البداية، يستغرق نفاذ أيونات Cu^{2+} وقت أطول، مما يضمن استمرار التفاعل لفترة أطول.

حل المشكلات:

تحليل بيانات تجريبية:

تم بناء خليتين كهروكيميائيتين:

الخلية (أ): Zn | Cu

الخلية (ب): Mg | Cu

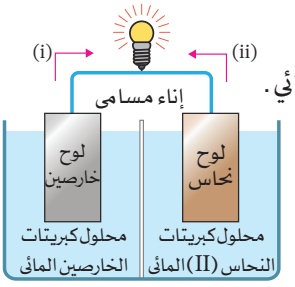
باستخدام سلسلة النشاط:

- تنبأ: أي خلية تنتج قوة دافعة كهربائية أعلى. .....
- اشرح تفكيرك. .....
- حدِّد الأنود والكاثود في كل خلية. .....

حاول بنفسك:

ادرس الخلية الموضحة بالشكل ثم أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) ما اسم الخلية الموضحة في الشكل؟



(ب) أي من الألواح المعدنية يعبر عن الكاثود (+)؟ أجب برمزها الكيميائي.

(جـ) عندما يوصَل لوح الزنك ولوح النحاس بسلك توصيل، عبِّر عن التغيرات التي تحدث عند كلا القطبين باستخدام معادلات أيونية تحتوي على إلكترونات (e^-).

(د) في أي اتجاه تتدفق الإلكترونات في سلك التوصيل (i) أم (ii)؟

(هـ) لزيادة إجمالي الشحنة الكهربائية الناتجة، كيف يجب اختيار التركيزات الأولية لمحلول كبريتات الزنك المائي ومحلول كبريتات النحاس (II) المائي؟

(و) في هذه الخلية، يتولد فرق جهد بين القطبين. ما اسم هذا الفرق في الجهد؟

(ز) إذا استُبدل لوح الزنك بلوح من النيكل واستُبدل محلوله المائي بمحلول مائي لكبريتات النيكل (II)، كيف سيتغير فرق الجهد مقارنة بما في (و)؟

الإجابة: .....

تدرب:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. أي من الأقطاب الكهربية يزداد وزنه أثناء تشغيل خلية دانيال؟

(أ) قطب الزنك (ب) قطب النحاس

(جـ) كلا القطبين (د) لا يزيد وزن أي من القطبين

الإجابة: .....

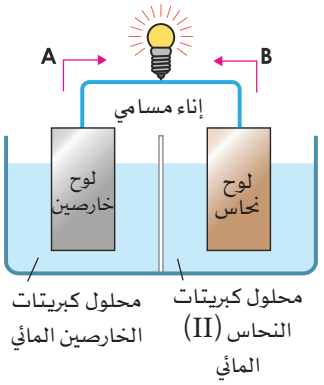
٢. في خلية دانيال، تحدث عملية الأكسدة لـ:

(أ) الكاثود (ب) الإلكتروليت

(جـ) الأنود (د) الوعاء المسامي

الإجابة: .....

٣. ادرس الخلية الموضحة بالشكل ثم أجب عن الأسئلة التالية:



(أ) عبِّر عن التفاعلات الحادثة عند الأنود (–) والكاثود (–) على التوالي، باستخدام معادلات أيونية (e^-).

(ب) في أي اتجاه تتدفق الإلكترونات في سلك التوصيل (A) أم (B)؟

(جـ) أي من العناصر التالية ينتقل من المحلول المائي لكبريتات النحاس (II) إلى المحلول المائي لكبريتات الزنك عبر الوعاء المسامي؟

أجب بالرقم المقابل.

(i) Zn (ii) Zn^{2+} (iii) Cu (iv) Cu^{2+} (v) H^+ (vi) SO_4^{2-}

تحدَّ تفكيرك:

خلية دانيال تتكون من:

- قطب Zn في محلول $ZnSO_4$
- قطب Cu في محلول $CuSO_4$

اقترح أحد الطلاب زيادة تركيز $ZnSO_4$ وخفض تركيز $CuSO_4$ لإطالة عمر الخلية.

قم بتقييم هذا الاقتراح.

- هل سيؤدي ذلك إلى زيادة أم نقصان وقت التفريغ؟ .....
- اشرح ذلك باستخدام التغيرات في تركيزات Cu^{2+} , Zn^{2+} عند كلا القطبين.

.....

٤-٢ — الخلية الكهروكيميائية (٢) (خلايا متنوعة)

مقدمة

تسير حافلة تعمل بالهيدروجين عبر المدينة دون إنتاج دخان أو ثاني أكسيد الكربون أو ملوثات ضارة. بدلًا من ذلك، فإن المادة الوحيدة المنبعثة من عادمها هي الماء. وفي الوقت نفسه، يعتمد ملايين السيارات حول العالم على بطاريات الرصاص الحمضية لتشغيل محركاتها يوميًّا.

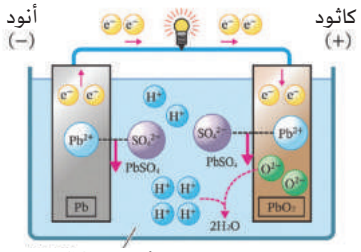
في هذا الدرس، سنتعرف على كيفية قيام الخلايا الكهروكيميائية المختلفة بتخزين وتوليد الكهرباء، وكيف يستخدم العلماء البراهين الكيميائية لتفسير الأداء المتوقع لهذه الخلايا والتنبؤ به.

سؤال توجيهي: كيف يمكن التصميم والتحكم في التفاعلات الكيميائية للحصول على الطاقة الكهربائية لأغراض مختلفة في الحياة العملية؟

تعلم

١. خلايا متنوعة

(أ) **بطارية الرصاص الحمضية:** بطارية تتكون من الرصاص Pb (الأنود)، وأكسيد الرصاص (IV) PbO_2 (كاثود)، وحمض الكبريتيك المخفف كإلكتروليت.



محلول مائي من H_2SO_4

الشكل 2.4.1 خلية الرصاص الحمضية

١. رمز الخلية: $(-)\ Pb \mid H_2SO_4(aq) \mid PbO_2\ (+)$

٢. تفاعلات الأقطاب (أثناء التفريغ):

تفاعل الأنود: $Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2e^-$

تفاعل الكاثود: $PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$

التفاعل الكلي: $Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$

٣. الخصائص:

- يقل تركيز حمض الكبريتيك نتيجة عملية التفريغ. (لأن H_2SO_4 يُستهلك ويتكوَّن H_2O)
- يُوصل مصدر طاقة خارجي ببطارية الرصاص الحمضية لشحنها. أثناء الشحن، تحدث التفاعلات العكسية عند الأقطاب.

(ب) **خلية الوقود:**

جهاز يستخدم في الحصول علي الطاقة الكهربائية باستخدام وقود (عامل مختزل) مثل الهيدروجين، ومؤكسد مثل الأكسجين.

١. رمز الخلية:

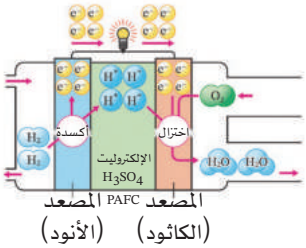
$(-)\ H_2 \mid H_3PO_{4(aq)} \mid O_2\ (+)$

٢. تفاعلات الأقطاب (نوع حمض الفوسفوريك):

تفاعل الأنود: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

تفاعل الكاثود: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

التفاعل الكلي: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$



الشكل 2.4.2 خلية الوقود

بنية العلم

حقيقة أساسية:

تقوم الخلايا الكهروكيميائية بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية من خلال تفاعلات الأكسدة والاختزال، وتعتمد كمية الكهرباء المنتجة على كمية الإلكترونات المنقولة.

المفاهيم لأساسية:

- الخلية الكهروكيميائية
- بطارية الرصاص الحمضية
- خلية الوقود
- الأكسدة
- الاختزال
- ثابت فاراداي
- الشحنة الكهربائية
- الإلكتروليت
- تفاعلات الأقطاب الكهربائية.

فكّر كمهندس:

يجب على مهندسي تصميم المركبات الكهربائية أن يقرروا أيًّا من التالي يستخدمون:

- بطاريات الرصاص الحمضية
- بطاريات أيون – الليثيوم
- خلايا وقود الهيدروجين

التحدي: أي تقنية تختارها لكل مما يلي؟

- حافلة مدرسي. .....
- سيارة ركاب. .....
- نظام إمداد الطاقة غير المنقطعة. .....

فسر اختيارك باستخدام دليل علمي. .....

٢. كمية الكهربية:

(أ) **التعبير عن كمية الكهربية:** كمية الكهرباء الناتجة من إمرار تيار كهربي شدته 1 A لمدة ثانية واحدة يُعبَّر عنها بوحدة تسمى 1 كولوم (C).

(ب) **ثابت فاراداي:** مقدار كمية الكهربية لكل (1 mole) من الإلكترونات، ويُرمز له بالرمز F.

$$F = 9.65 \times 10^4\ C/mol$$

- يمكن حساب كمية الكهربية المتدفقة باستخدام ثابت فاراداي:

إجمالي الشحنة الكهربية بالكولوم [C] = ثابت فاراداي [C/mol] × كمية مادة الإلكترونات [mol]

(جـ) **المعادلات الكيميائية للخلايا:** في الخلية، بما أن التفاعلات الحادثة عند كل قطب مختلفة، ضع في اعتبارك معادلة التفاعل التي ستستخدمها وفقًا لما تريد إيجاده.

تفاعلات وشحنات أساسية:

الخلية	الأنود (–، أكسدة)	الكاثود (+، اختزال)
الرصاص الحمضية	$Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2e^-$	$PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-}\ 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$
خلية الوقود (H_3PO_4)	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

تطبيق حياتي:

بطاريات السيارات:

توفر بطاريات الرصاص الحمضية الدفعة الكبيرة من الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل محركات المركبات.

المركبات العاملة بالهيدروجين:

تولّد خلايا الوقود الكهرباء، بينما تنتج الماء فقط كمنتج ثانوي.

مثال:

أجب عما يلي، علمًا بأن ثابت فاراداي: $(F = 9.65 \times 10^4\ C/mol)$ $(H = 1.0, O = 16, S = 32)$:

(أ) اقرأ النص التالي وأجب عن الأسئلة التي تليه:

تتكون بطارية الرصاص الحمضية من (A) والرصاص كأقطاب في حمض الكبريتيك المخفف.

وعندما يتحول 1.0 mole من الرصاص تحولًا كاملًا أثناء التفريغ، يمكن الحصول على كمية من الكهرباء (B) [كولوم C]، وينخفض مستوى حمض الكبريتيك المخفف بمقدار (C) [gm]. عند شحن بطارية الرصاص الحمضية، قم بتوصيل الرصاص بالقطب (D) لمصدر خارجي للطاقة الكهربية، عند الشحن، كتلة كلتا ألواح القطبين هي (E)

(i) إملأ الفراغات من (E) : (A) بالكلمات والقيم العددية المناسبة. قرب النتيجة إلى رقمين عشريين.

(ii) عبِّر عن التغيرات التي تحدث أثناء شحن بطارية الرصاص الحمضية بمعادلة كيميائية.

(ب) اقرأ النص التالي وأجب عن الأسئلة التي تليه:

خلية الوقود هي جهاز يحول طاقة تفاعل احتراق إلى طاقة كهربائية باستخدام الوقود والأكسجين.

في خلية وقود تحتوي على محلول مائي من حمض الفوسفوريك كإلكتروليت، يتم (A) الهيدروجين عند (B) ليصبح (C)، الذي ينتقل عبر الإلكتروليت ويتفاعل مع الأكسجين عند (D) ليصبح (E)

(i) املأ الفراغات من (E) : (A) بالكلمات المناسبة.

(ii) عبّر عن التفاعلات التي تحدث عند كل من الأنود والكاثود باستخدام معادلات أيونية مع الإلكترونات e^-.

الشرح

(أ) (i) **A:** أكسيد الرصاص (IV)

B: بما أن مقدار التغير في الرصاص معلوم والمطلوب إيجاد كمية الكهرباء، ضع في اعتبارك تفاعل المصعد.

من تفاعل المصعد: $Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2e^-$ عندما يتحول 1.0 mol من الرصاص، يتدفق 2.0 mol من الإلكترونات.

بما أن كمية الكهرباء المتدفقة [C] = ثابت فاراداي [C\mol] × كمية مادة الإلكترونات [mol]، فإن كمية الكهرباء =

$2.0\ mol \times 9.65 \times 10^4\ C/mol = 1.93 \times 10^5\ C \approx 1.9 \times 10^5\ \ C\ 1.9 \times 10^5$

C: بما أننا نتعامل مع مقدار النقص في حمض الكبريتيك المخفف، ضع في اعتبارك التفاعل الكلي.

$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$$

عندما يتحول 1.0 mol من الرصاص، يقل حمض الكبريتيك بمقدار 2.0 mol ويزداد الماء بمقدار 2.0 mol، و بما أن : $H_2SO_4 = 98g/mol$ و $H_2O = 18g/mol$ ، فإن مقدار النقص في حمض الكبريتيك المخفف هو:

$(98 - 18)\ g/mol \times 2.0\ mol = 160 = 1.6\ mol\ 10^2\ g \quad 1.6 \times 10^2$

D: صل الأنود والكاثود لبطارية الرصاص الحمضية بالقطبين السالب والموجب لمصدر الطاقة الخارجي على الترتيب.

أثناء الشحن، يُوصَّل الطرف السالب لبطارية الرصاص الحمضية (الرصاص) بالطرف السالب لمصدر الطاقة الخارجي، فيعمل كاثود (سالب)

التصورات الخطأ

المفهوم الخاطئ:

«الكهرباء مخزنة داخل الأسلاك».

التفسير العلمي:

تتولد الطاقة الكهربائية عن طريق انتقال الإلكترونات أثناء تفاعلات الأكسدة والاختزال؛ توفر الأسلاك ببساطة مسارًا لتدفق الإلكترونات.

E: أثناء التفريغ: يتحول Pb و PbO_2 إلى $PbSO_4$، مما يزيد كتلة القطب بينما أثناء الشحن، تحدث تفاعلات عكسية، مما يقلل كتلة القطب **تنقص**.

(ii) أثناء الشحن، يحدث التفاعل في الاتجاه العكسي للتفريغ.

لذلك: $2PbSO_4 + 2H_2O \rightarrow Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4$

(ب) (i) **A**: تأكسد **B**: الأنود **C**: أيونات الهيدروجين **D**: الكاثود **E**: الماء

(ii) المصعد: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

المهبط: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

طبيعة العلم: تحديد المتغيرات:

يريد عالم أن يبحث كيف تعتمد كمية الشحنة الكهربائية الناتجة من بطارية رصاص حمضية على مقدار الرصاص الذي يتفاعل أثناء التفريغ.

- تُحضَّر عدة بطاريات رصاص حمضية متطابقة.
- يغيِّر العالم مقدار الرصاص المتاح في كل بطارية مع إبقاء جميع الظروف الأخرى ثابتة. ثم تُقاس إجمالي الشحنة الكهربائية الناتجة.

١. ما المتغير المستقل؟ .....

٢. ما المتغير التابع؟ .....

٣. ما المتغيرات التي ينبغي التحكم فيها لضمان اختبار عادل؟ .....

حاول بنفسك:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. أي مما يلي يعبر عن التغير الحادث لتركيز حمض الكبريتيك أثناء تفريغ بطارية الرصاص الحمضية؟

(أ) يزداد (ب) يبقى ثابتًا

(جـ) ينقص (د) يتضاعف

الإجابة: .....

٢. أي من المواد التالية تُنتَج عند كاثود خلية وقود الهيدروجين؟

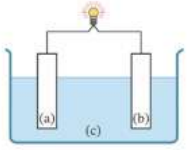
(أ) غاز الهيدروجين (ب) حمض الكبريتيك

(جـ) الماء (د) غاز الأكسجين

الإجابة: .....

أجب عن الأسئلة التالية:

٣. من الشكل المقابل والذي يعبر عن بطارية الرصاص الحامضية:



علمًا بأن ثابت فاراداي $(F = 9.65 \times 10^4\ C/mol)$

$(H = 1.0 ، O = 16 ، S = 32 ، Pb = 207)$

(أ) ما المواد المستخدمة لـ (a) الأنود (−)، و(b) الكاثود (+)، و(C) الإلكتروليت؟
أجب بصيغتها الكيميائية.

(ب) عبِّر عن التفاعلات عند الأنود (−) والكاثود (+) أثناء التفريغ باستخدام معادلات أيونية تتضمن e^-، على التوالي.

(جـ) عبّر عن التفاعل الكلي للبطارية أثناء التفريغ بمعادلة كيميائية.

(د) كيف يتغير تركيز الإلكتروليت نتيجة التفريغ؟

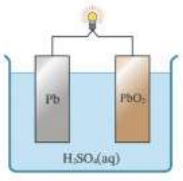
(هـ) بعد تفريغ هذه البطارية لفترة معينة، تم شحنها، وقلّت كتلة الأنود بمقدار 7.2 g. ما مقدار كمية الكهرباء بوحدة [C] التي تدفقت أثناء الشحن؟ إجابتك لرقمين عشريين

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. الشكل المقابل يعبر عن مخطط لبطارية رصاص حمضية. أجب عن الأسئلة التالية.

$(H = 1.0, O = 16, S = 32, Pb = 207)$



(أ) اذكر اسم المادة المستخدمة للكاثود (+).

(ب) عبِّر عن التفاعلات عند الكاثود (+) والأنود (−)
أثناء التفريغ باستخدام معادلات أيونية تتضمن e^-، على التوالي.

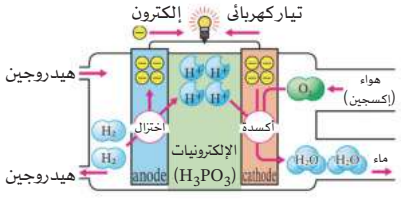
(جـ) عبِّر عن التفاعل الكلي للبطارية أثناء التفريغ بمعادلة كيميائية.

(د) كيف يتغير تركيز الإلكتروليت بسبب التفريغ؟

(هـ) عندما تتدفق كمية كهرباء تعادل 1.0 mol من الإلكترونات، كم (gm) تزداد أو تقل كتلة القطب الموجب؟ إجابتك لرقمين عشريين.

٢. الشكل المقابل يعبر عن مخطط لخلية وقود (نوع حمض الفوسفوريك). تستخلص خلية الوقود طاقة كهربية من تفاعل الهيدروجين (الوقود) والأكسجين.

أجب عن الأسئلة التالية:



(أ) بخصوص خلية الوقود (نوع حمض الفوسفوريك)،
التفاعل (a) يحدث عند الكاثود (+)، والتفاعل (b)
يحدث عند الأنود (−) والتفاعل الكلي (C)

- اكتب المعادلات الأيونية التي تتضمن e^-،
التي تعبر عن (a) و (b)
- اكتب معادلة التفاعل (C).

(ب) احسب كمية الكهرباء المتدفقة عندما يُستهلَك 5.6 L من الهيدروجين عند 0°C وضغط 1.013×10^5 Pa بفرض وجود وفرة من الأكسجين. (ثابت فاراداي: $F = 9.65 \times 10^4$ C/mol)
عبِّر عن إجابتك برقمين عشريين.

تحدَّ تفكيرك:

تنفذ بطارية الرصاص الحمضية تمامًا، مما يؤدي إلى تدفق 3.0 mol من الإلكترونات.

باستخدام: $F = 9.65 \times 10^4$ C/mol **احسب:**

١. إجمالي الشحنة المنتجة. .....

٢. هل ستكون الشحنة أكبر أم أصغر إذا تدفق 5.0 mol من الإلكترونات؟ .....

٣. اشرح تفكيرك .....

٥-٢ — التفاعلات عند الأقطاب الكهربائية (١)

مقدمة

تريد إحدى الشركات إنتاج الهيدروجين كوقود ومصدر للطاقة النظيفة والكلور لمعالجة المياه. بدلًا من إضافة مواد كيميائية، فقام المهندسون بتمرير تيارًا كهربائيًّا عبر محلول ملحي. وبعد دقائق قليلة، ظهرت فقاعات من غازات عند كل من القطبين، وتكونت مواد جديدة تمامًا.

دعنا نستكشف في هذا الدرس: كيف يمكن للكهرباء أن تحوِّل المادة إلى منتجات جديدة؟

؟ سؤال توجيهي: كيف يمكن للطاقة الكهربائية أن تحفز تفاعلات كيميائية غير تلقائية على الحدوث، وكيف يتنبأ الكيميائيون بالمواد التي ستتكوَّن عند كل قطب؟

بنية العلم

حقيقة أساسية:

تتوقف نواتج التحليل الكهربائي على كل من الأيونات الموجودة في المحلول ونوع القطب المستخدم.

المفاهيم لأساسية:

- التحليل الكهربائي
- التفاعلات عند الأقطاب
- غشاء التبادل الكاتيوني
- طريقة غشاء التبادل الأيوني.

تعلم

التحليل الكهربائي:

(أ) التحليل الكهربائي:

- عملية تستخدم فيها الطاقة الكهربائية لحدوث تفاعلات الأكسدة والاختزال غير التلقائية.
- تتوقف التفاعلات التي تحدث عند الأقطاب على نوع الأقطاب الكهربية ونوع الأيونات الموجودة في المحلول المائي.

(ب) التفاعلات عند الأقطاب:

«التفاعلات عند الأنود»

(i) عند استخدام قطب من البلاتين أو الكربون (قطب خامل):

- في حالة وجود **أيونات الهاليد** (مثل I^- ، Cl^-)، تتأكسد أيونات الهاليد إلى **عناصرها**.

مثال: $2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$

- في حالة وجود أيونات أخرى (مثل أيونات الكبريتات SO_4^{2-} وأيونات النترات NO_3^-):

... عندما يكون المحلول المائي حمضيًّا أو متعادلًا، يتأكسد الماء H_2O ويتصاعد غاز الأكسجين O_2

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

... عندما يكون المحلول المائي قاعديًّا، تتأكسد أيونات الهيدروكسيد OH^- ويتصاعد غاز الأوكسجين O_2

$$4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$$

(ii) عند استخدام قطب آخر غير البلاتين أو الكربون (فلز):

تتأكسد ذرات فلز القطب ويذوب في شكل أيونات موجبة.

مثال: $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$

«التفاعلات عند الكاثود» ..... لا يؤثر نوع الكاثود على ناتج التحليل الكهربي

(i) في حالة وجود أيونات فلز أقل نشاطًا من الهيدروجين (مثل Cu^{2+} ، Ag^+) عند الكاثود، تُختزل وتترسب في صورة فلزاتها.

مثال: $Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$

(ii) في حالة وجود أيونات فلز أعلى نشاطًا من الهيدروجين، يُختزل الماء عند الكاثود بدلًا من أيونات الفلز، ويتصاعد غاز الهيدروجين:

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$$

(iii) عندما يكون المحلول المائي حمضيًّا، تُختزل أيونات الهيدروجين (H^+) عند الكاثود ويتصاعد غاز الهيدروجين:

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$$

(جـ) مثال على التحليل الكهربائي:

«التحليل الكهربي لمحلول مائي لحمض الكبريتيك H_2SO_4 (حمض كبريتيك مخفف) باستخدام أقطاب من البلاتين»

في حالة الأقطاب المصنوعة من البلاتين، توجد أيونات الكبريتات (SO_4^{2-})، والمحلول المائي حمضي.

(1) عند الأنود: $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

(2) عند الكاثود: $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

الاستكشاف استقصائي:

الخلية	الإلكتروليت	القطب
A	NaCl(aq)	كربون
B	$AgNO_3$(aq)	فضة
C	NaOH(aq)	بلاتين

١. ما الأيونات الموجودة في كل محلول؟ .....

٢. ما الأيونات الأكثر احتمالًا لاكتساب إلكترونات؟ .....

٣. ما الجسيمات الأكثر احتمالًا لفقد إلكترونات؟ .....

طريقة غشاء التبادل الأيوني:

(أ) **غشاء التبادل الكاتيوني:** غشاء لا يمر من خلاله سوى الأيونات الموجبة (الكاتيونات).

(ب) **طريقة غشاء التبادل الأيوني:** طريقة تصنيع هيدروكسيد الصوديوم باستخدام غشاء تبادل كاتيوني.

❶ بالتحليل الكهربي لمحلول مائي لكلوريد الصوديوم باستخدام قطبي كربون وحديد.

تفاعل المصعد: $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

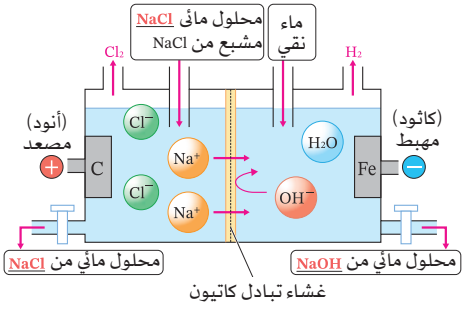
تفاعل المهبط: $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$

يتصاعد غاز الكلور Cl_2 عند الأنود، ويتصاعد غاز الهيدروجين H_2 عند الكاثود

❷ بمرور Na^+ عبر غشاء التبادل الكاتيوني، متوجهًا للكاثود.

❸ عند الكاثود، يزداد تركيز OH^- ، Na^+

⟸ يتم الحصول على هيدروكسيد صوديوم عالي النقاء بتركيز محلول غرفة الكاثود.



تطبيق حياتي:

اقتصاد الهيدروجين: يعتمد المجتمع حاليًّا على الوقود الأحفوري (الفحم، النفط، الغاز)، لكن حرقها يُطلق CO_2، والذي له تأثير الاحتباس الحراري وارتفاع مستوى سطح البحر. الهيدروجين (H_2) بديل مثالي لأن احتراقه ينتج الماء فقط، مما يجعله وقودًا متجددًا وغير ملوث. يعتمد «اقتصاد الهيدروجين» على تقنيتين كلتاهما كهروكيميائية:

١. التحليل الكهربائي للماء – باستخدام الطاقة الشمسية لتفكيك الماء إلى هيدروجين.

٢. خلايا الوقود – تحويل الطاقة الكيميائية للهيدروجين إلى طاقة كهربية.

يُعد إتقان علم الكيمياء الكهربائية مفتاحًا لمستقبل مستدام وخالٍ من الكربون.

مثال:

بالتحليل الكهربي للمحاليل (a ، b ، c). اكتب نصف تفاعل الأكسدة أو الاختزال الذي يحدث عند كل قطب من الأقطاب.

	(a)	(b)	(c)
الإلكتروليت	محلول كلوريد النحاس (II)	محلول نترات الفضة	محلول هيدروكسيد الصوديوم
الأنود (المصعد)	C	Ag	Pt
الكاثود (المهبط)	C	Ag	Pt

الشرح

(a) عند الأنود (الكربون): يتأين كلوريد النحاس (II)، و تتجه أيونات الكلوريد Cl^- إلى الأنود، التي تتأكسد إلى غاز الكلور. $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

عند الكاثود (الكربون): يتأين كلوريد النحاس (II)، وتتجه أيونات النحاس Cu^{2+} إلى الكاثود (فلز أقل نشاطًا من الهيدروجين)، تُختزل الأيونات ويترسب فلز النحاس. $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

(b) عند الأنود: بما أن القطب من الفضة، تتأكسد ذرات فلز القطب وتذوب كأيونات موجبة

$$Ag \rightarrow Ag^+ + e^-$$

عند الكاثود: تتأين نترات الفضة، وتتجه أيونات الفضة Ag^+ (فلز أقل نشاطًا من الهيدروجين)، تختزل إلى ذرات فضة تترسب $Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$

(c) عند الأنود: القطب من البلاتين، ومحلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) المائي قاعدي. في هذه الحالة، تتأكسد أيونات الهيدروكسيد OH^-.

$$4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$$

عند الكاثود: يتأين هيدروكسيد الصوديوم، وتوجد أيونات فلزات أكثر نشاطًا من الهيدروجين، Na^+ في هذه الحالة، يُختزل الماء H_2O، و يتصاعد غاز H_2.

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$$

فكّر كعالم كيميائي:

يقول أحد الطلاب: «يجب أن يتكوَّن معدن الصوديوم أثناء التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم لأن أيونات الصوديوم موجودة».

قيِّم هذه العبارة:

- هل الصوديوم أكثر نشاطًا من الهيدروجين؟ .....
- أي نوع أسهل في الاختزال؟ .....
- ما الدليل الذي يدعم استنتاجك؟ .....

حاول بنفسك:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. بالتحليل الكهربي لمحاليل الإلكتروليتات المائية الموضحة في الجدول.

عبِّر عن التغيرات من A إلى F التي تحدث عند كل قطب بمعادلة نصف تفاعل الأكسدة أو الاختزال.

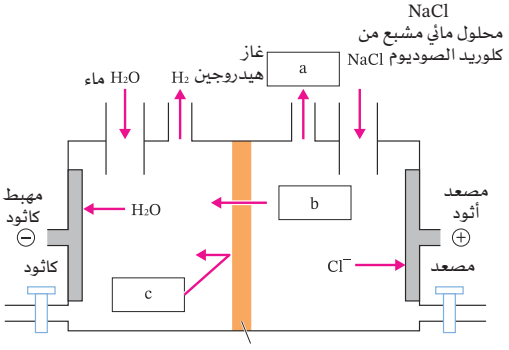
المحلول المائي	المهبط	التغير	المصعد	التغير
(أ) حمض الكبريتيك المخفف	Cu	(A)	Cu	(B)
(ب) محلول هيدروكسيد الصوديوم	Pt	(C)	Pt	(D)
(جـ) محلول كبريتات النحاس (II)	Pt	(E)	Pt	(F)

الإجابة .....

اختر الإجابة الصحيحة:

٢. من الشكل التخطيطي الموضح لإنتاج هيدروكسيد الصوديوم صناعيًّا بطريقة غشاء التبادل الأيوني.

اخترأنسب مجموعة من الصيغ الكيميائية من (1) إلى (6) لإدراجها في الشكل أدناه a إلى c.



غشاء تبادل كاتيونات (شبه منفذ)

	(a)	(b)	(c)
(1)	O_2	Na^+	OH^-
(2)	O_2	OH^-	OH^-
(3)	O_2	Na^+	Cl^-
(4)	Cl_2	OH^-	Cl^-
(5)	Cl_2	Na^+	Cl^-
(6)	Cl_2	Na^+	OH^-

تدرب:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. أثناء التحليل الكهربائي لـمحلول مائي من $AgNO_3(aq)$، يترسب فلز الفضة عند الكاثود لأن:

(أ) أيونات Ag^+ يسهل اختزالها

(ب) الماء يتأكسد

(جـ) أيونات النترات تكتسب إلكترونات

(د) الفضة نشطة كيميائيًّا جدًّا

الإجابة: .....

٢. أي من العوامل التالية عامل يمكن أن يغير من نواتج التحليل الكهربائي؟

(أ) لون الوعاء

(ب) مادة القطب

(جـ) شكل الكأس

(د) موضع مصدر الطاقة

الإجابة: .....

٣. عند إجراء التحليل الكهربائي للإلكتروليتات وباستخدام الأقطاب الموضحة في الجدول من (a) إلى (d) في الجدول، عبِّر عن التفاعلات الحادثة عند الأنود والكاثود باستخدام معادلات نصف التفاعل على الترتيب.

	(a)	(b)	(c)	(d)
الإلكتروليت	حمض كبريتيك مخفف	محلول KOH	محلول $CuSO_4$	محلول NaCl
المصعد	Pt	Pt	Cu	C (جرافيت)
المهبط	Pt	Pt	Fe	Fe

الإجابة: .....

تحدَّ تفكيرك:

بالتحليل الكهربي لمحلول مائي مركَّز من كلوريد الصوديوم باستخدام أقطاب من الكربون.

١. حدِّد جميع الأيونات الموجودة. .....

٢. تنبأ بالناتج عند الأنود. .....

٣. تنبأ بالناتج عند المهبط. .....

٤. اشرح لماذا لا يتكوَّن فلز الصوديوم. .....

٥. تنبأ كيف تتغير درجة الحامضية (pH) في غرفة الكاثود. .....

٦-٢ — التحليل الكهربائي (٢)
(كمية الكهرباء، خليتان تحليليتان)

مقدمة

تستخدم إحدى الشركات التحليل الكهربائي لإنتاج نحاس نقي للأسلاك الكهربائية. يعرف المهندسون بالضبط كمية النحاس التي ستترسب قبل أن تبدأ العملية – ليس بوزن النحاس، بل بقياس التيار الكهربائي المتدفق عبر الكهربية.

في هذا الدرس، سنستكشف العلاقة بين كمية الكهرباء والإلكترونات والتغير الكيميائي، ونكتشف كيف يستخدم الكيميائيون الأدلة الكمية للتنبؤ بالإنتاج الصناعي.

؟ سؤال توجيهي: كيف يمكن للكيميائيين التنبؤ بمقدار المادة الناتجة من التحليل الكهربائي باستخدام قياسات كهربائية فقط مثل التيار والزمن؟

الاستكشاف

يمكن للطلاب طلاء عملة معدنية أو مفتاح معدني كهربائيًّا باستخدام محلول كبريتات النحاس.

الملاحظة:

قبل التحليل الكهربائي: .....

بعد التحليل الكهربائي: .....

الاستنتاج: .....

تعلم

١. التحليل الكهربي والكمية الكهربية:

(أ) **حساب كمية الكهرباء:** كمية الكهرباء (C) = التيار (A) × الزمن (S)

(ب) **ثابت فاراداي F:** كمية الكهرباء لكل 1 مول من الإلكترونات.. $F = 9.65 \times 10^4$ C/mol

(جـ) كتلة المادة الناتجة بالتحليل الكهربي (m) تتناسب تناسبًا طرديًّا مع كمية الكهربية (Q) المارة في الإلكتروليت.

- التعبير $Q \propto m$
- بما أن $Q = I \times t$ (التيار × الزمن)، يمكننا كتابة المعادلة كالتالي : $m = ZIt$
- m كتلة المادة المترسبة (gm).
- Q = كمية الكهرباء المارة (Coulomb).
- I = التيار (Ampere).
- t = الزمن (Sec).
- Z = المكافئ الكهروكيميائي للمادة.

– المكافئ الكهروكيميائي (Z): هو كتلة المادة المترسبة نتيجة مرور كمية من الكهرباء مقداره كولوم واحد (1C) وتُحسب قيمته بالصيغة التالية: $Z = \frac{\text{الكتلة المولية}}{nf}$

- n = عدد الإلكترونات المفقودة أو المكتسبة لكل مول من المادة (التي تمثل تكافؤ العنصر في تفاعل الأكسدة والاختزال).
- F = ثابت فاراداي (9.65×10^4 C)، ويمثل شحنة 1 mol من الإلكترونات.

بنية العلم

حقيقة أساسية:

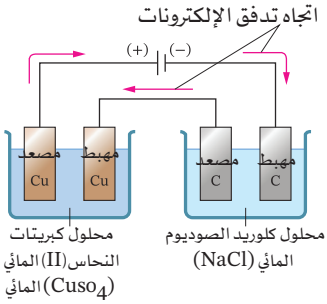
كمية المادة الناتجة بالتحليل الكهربائي تتناسب طرديًا مع كمية الكهرباء التي تمر عبر الدائرة.

المفاهيم الأساسية:

- التحليل الكهربائي
- كمية الكهرباء
- ثابت فاراداي
- الأكسدة
- الاختزال
- التنقية الكهربية

٢. التحليل الكهربائي باستخدام خليتين تحليليتين:

عند توصيل خلايا تحليلية فإن التحليل الكهربي يحدث لكل إلكتروليت على حدة عند أقطاب كل خلية، حيث تتحرك الإلكترونات عبر الخليتين التحليليتين.



شكل 2.6.1 التحليل الكهربائي باستخدام خليتين إلكتروليتيتين

(أ) التفاعلات عند الأقطاب في الشكل الذي أمامك:

(i) التفاعلات في محلول $CuSO_4$:

الأقطاب من النحاس Cu ، أيونات Cu^{2+} في المحلول المائي

عند الأنود : $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$

عن الكاثود: $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

(ii) التفاعلات في محلول NaCl:

الأقطاب من الكربون، ويوجد أيونات Na^+ , Cl^- في المحلول المائي

عند الأنود: $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

عند الكاثود: $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$

(ب) الدائرة ومقدار كمية الكهرباء:

عندما تُوصَّل الخليتان التحليليتان A و B على التوالي،

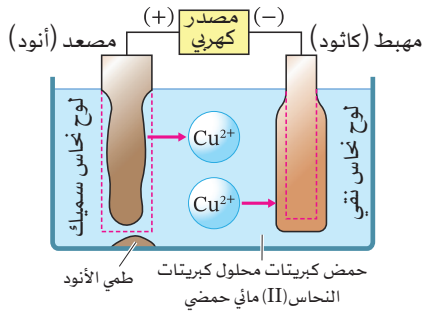
وتكون كمية الكهرباء المارة في الخليتين A و B هي Q_a و Q_B على الترتيب وكمية الكهربية المارة عبر الدائرة بأكملها هي Q ، فإن العلاقة $Q = Q_a = Q_B$.

كمية الكهربية [C] = التيار [A] × الزمن [S] في الدائرة الكهربائية المتسلسلة، يكون التيار الذي يمر عبر الدائرة متساويًا في كل أجزائها

٣. تنقية النحاس كهربيًّا:

(أ) التنقية الكهربية: الحصول على فلز نقي من فلز يحتوي على شوائب باستخدام التحليل الكهربائي.

(ب) التنقية الكهربية للنحاس: عن طريق صهر الكالكوبيريت (بايرايت النحاس)، وهو أحد خامات النحاس، يتم الحصول على «نحاس غير نقي» بنسبة نقاوة تصل إلى حوالي 99%، ومن ثَمَّ بإجراء عملية التنقية الكهربائية له، يتم الحصول على «نحاس نقي» بنسبة نقاوة تصل إلى 99.99% أو أكثر.



شكل 2.6.2 التحليل الكهربائي لتنقية النحاس

«آلية التنقية الكهربائية للنحاس»:

❶ اجعل لوح النحاس غير النقي هو **الأنود (+)** ولوح النحاس النقي هو **الكاثود (-)**.

❷ **عند الأنود:** تفقد ذرات النحاس إلكترونات وتذوب في صورة أيونات نحاس (II).

المعادلة الكيميائية: $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$

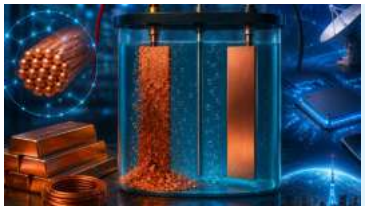
عند الكاثود: تكتسب أيونات النحاس (II) إلكترونات وتترسب في صورة فلز نحاس.

المعادلة الكيميائية: $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

❸ **عند الأنود:** يترسب الذهب والفضة وفلزات أخرى أقل نشاطًا موجودة في النحاس غير النقي كعناصر. يُسمى هذا الترسب «**طمي الأنود**».

علاقات أساسية لكمية الكهرباء:

العلاقة	الصيغة
كمية الكهربية من التيار والزمن	$Q\,[C] = I\,[A] \times t\,[s]$
كمية الكهربية من الإلكترونات	$Q\,[C] = F \times n\,(e^-),\ F = 9.65 \times 10^4\ C/mol$
الخلايا على التوالي	$Q = Qa = QB$ (نفس الإلكترونات عبر كل خلية)
تنقية النحاس	النحاس غير النقي = الأنود (+)، النحاس النقي = الكاثود (−)؛ Au/Ag ← طمي المصعد



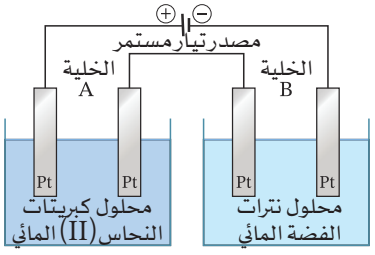
تطبيق حياتي:

تضمن التنقية الكهربية موصلية كهربية أفضل، وفقدانًا أقل للطاقة، وأجهزة إلكترونية أكثر مصداقية. بدون التحليل الكهربائي، لن تعمل أنظمة الاتصالات الحديثة بكفاءة.

مثال:

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) في الشكل المقابل:



وُضع محلول كبريتات النحاس (II) المائي في الخلية التحليلية A، ومحلول نترات الفضة المائي في الخلية التحليلية B، وأُجري التحليل الكهربي باستخدام أقطاب البلاتين. و بإمرار تيار كهربي ثابت الشدة، زادت كتلة كاثود الخلية B بمقدار 5.4 g.

أجب عن الأسئلة التالية. لأقرب رقمين عشريين.

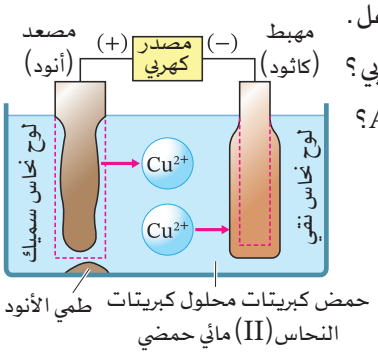
$(Cu = 64,\ Ag = 108)$ (ثابت فاراداى $F = 9.65 \times 10^4\ C/mol$)

(i) اكتب التفاعل عند كاثود الخلية B كمعادلة نصف تفاعل.

(ii) ما كمية الكهرباء بوحدة (C) اللازمة لهذا التحليل الكهربي؟

(iii) ما كتلة النحاس (gm) التي تترسب عند كاثود الخلية A؟

(ب) اقرأ النص التالي وأجب عن الأسئلة التي تليه:



النحاس المستخلص من الكالكوبيريت (بايرايت النحاس) نحاس غير نقي ويحتوي على شوائب مثل الذهب والفضة والحديد والزنك.

بجعل النحاس غير النقي القطب (A) والنحاس النقي القطب (B)، يُجري التحليل الكهربي لمحلول كبريتات النحاس (II) المائي للحصول على نحاس نقي. و بالتالي، تترسب الفلزات ذات النشاط (C) مثل الذهب والفضة كعناصر عند قاع القطب، ويُسمى هذا الراسب (D).

(i) أجب بالكلمات التي تناسب من A إلى D.

(ii) عبِّر عن التفاعلات عند الأنود والكاثود باستخدام معادلات نصف التفاعل.

الشرح

(أ) (i) في المحلول المائي للخلية التحليلية B، توجد أيونات فلز أقل نشاطًا، Ag^+

$$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$$

(ii) ضع في اعتبارك التفاعل عند كاثود الخلية التحليلية B، الذي تزداد كتلته.

من معادلة التفاعل في (1)، يتضح أنه ليترسب 1mole من Ag، يتطلب 1mol من الإلكترونات.

وبما أن الزيادة في كتلة كاثود الخلية التحليلية B 5.4 g من Ag.

فإن كمية مادة Ag المتكونة هي. $\frac{5.4\ g}{108\ g/mol} = 5.0 \times 10^{-2}\ mol$

لذلك، فإن عدد مولات الإلكترونات المارة في المحلول أيضًا $5.0 \times 10^{-2}\ mol$. وبذلك، فإن كمية الكهرباء المطلوبة هي:

$$9.65 \times 10^4\ C/mol \times 5.0 \times 10^{-2}\ mol = 4.825 \times 10^3 \approx 4.8 \times 10^3\ C$$

(iii) التفاعل عند كاثود الخلية التحليلية A هو $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$. من معادلة التفاعل، يتضح أنه ليترسب 1mole من Cu يتطلب 2 mol من الإلكترونات.

بما أن التيار المار عبر الدائرة هو نفسه في كل جزء، فإن عدد مولات الإلكترونات المارة في الخليتين هو نفسه أيضًا.

الإلكترونات المارة في الخلية التحليلية A هي $5.0 \times 10^{-2}\ mol$، وكمية مادة Cu المتكونة هي $5.0 \times 10^{-2} \times \frac{1}{2}\ mol$؛ لذلك، كتلة النحاس المترسب هي:

$$64\ g \times 5.0 \times 10^{-2} \times \frac{1}{2}\ mol = 1.6\ g$$

(ب) (i) (١) الأنود (٢) الكاثود (٣) منخفض (٤) طمي الأنود

(ii) **الأنود:** $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$

المهبط: $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

طبيعة العلم: تحديد المتغيرات

يريد عالم أن يبحث تأثير التيار الكهربي على كتلة النحاس المترسب أثناء التحليل الكهربي.

١. ما المتغير المستقل؟

.....

٢. ما المتغير التابع؟

.....

٣. ما المتغيرات التي ينبغي التحكم فيها لضمان إجراء تجربة عادلة؟

.....

حاول بنفسك:

اختر الإجابة الصحيحة:

1. أي المعادلات التالية تعبر عن العلاقة بين التيار والزمن مباشرةً بكمية الكهرباء؟

(أ) $PV = nRT$ (ب) $Q = It$ (جـ) $\pi = cRT$ (د) $\Delta t = Km$

الإجابة: .....

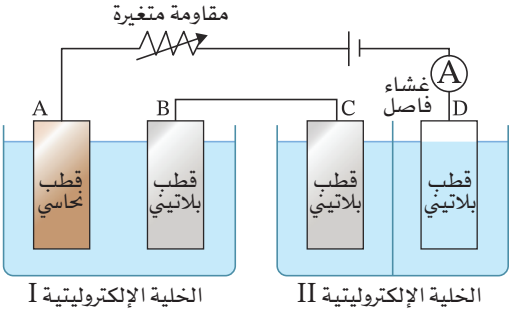
2. في التنقية الكهربائية للنحاس، يعمل النحاس غير النقي كـ:

(أ) كاثود (ب) إلكتروليت (جـ) أنود (د) قنطرة ملحية

الإجابة: .....

أجب عن الأسئلة التالية:

3. جُمِّع جهاز تحليل كهربائي كما هو موضح في الشكل، ووُضع محلول كبريتات النحاس (II) المائي في الخلية التحليلية I، ومحلول كبريتات الصوديوم المائي في الخلية التحليلية II.



باستخدام هذا الجهاز، أُجري التحليل الكهربائي لمدة 32 min و 10 s مع الحفاظ على التيار عند 10A.

أجب عن الأسئلة التالية:

افترض ثابت فاراداي $F = 9.65 \times 10^4$ C/mol.

(أ) كم عدد مولات الإلكترونات التي تدفقت؟

(ب) عبِّر عن التغيرات الحادثة عند القطبين A وB باستخدام معادلات نصف التفاعل.

(جـ) أي القيم التالية أقرب إلى [تغير الكتلة g] للقطب A في الخلية التحليلية I بعد التحليل الكهربائي؟ (Cu = 64)

١. −19.2 **٢.** −12.8 **٣.** −6.4 **٤.** 0± **٥.** +12.8 **٦.** +19.2 **٧.** +6.4

(د) ما الحجم بوحدة L للغاز المتصاعد عند القطب C للخلية التحليلية II عند 0 °C وضغط 1.013×10^5 Pa؟ أجب لأقرب رقمين عشريين.

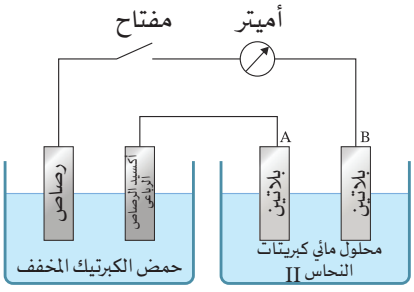
(هـ) ما الخاصية التي يُظهرها المحلول المائي القريب من القطب D في الخلية التحليلية II بعد التحليل الكهربائي؟

تدرب:

١. اقرأ النص التالي وأجب عن الأسئلة التي تليه: افترض أن ثابت فاراداي

$F = 9.65 \times 10^4$ C/mol ، (H = 1.0, O = 16, S = 32, Cu = 64, Pb = 207)

كما هو موضح في الشكل، وُصلت بطارية رصاص حمضية وخلية تحليلية وأميتر على التوالي.



تحتوي الخلية التحليلية على 200mL من محلول كبريتات النحاس (II) المائي بتركيز 0.200 mol/L. استُخدمت ألواح بلاتين لأقطاب الخلية التحليلية، وأُجري التحليل الكهربائي بتيار 2.00 A لمدة 32 min و10s. في الخلية التحليلية، يعمل قطب البلاتين A في الشكل أنود، ويعمل قطب البلاتين B كاثود. عند القطب B، يترسّب (i).

بطارية الرصاص الحمضية المستخدمة للتحليل الكهربائي هي بطارية يُستخدم فيها حمض كبريتيك مخفف بكثافة $1.20\ g/cm^3$ وتركيز 30.0٪ بالكتلة، ويُغمر الرصاص كأنود (−) وأكسيد الرصاص (IV) كاثود (+).

(I) عند قطب الرصاص، يحدث تفاعل (ii)، و (II)عند قطب أكسيد الرصاص (IV)، يحدث تفاعل (iii). عندما يستمر التفريغ، يتكوَّن راسب أبيض (iv) على كلا القطبين، وتقل القوة الدافعة الكهربائية.

يمكن شحنها بتوصيل أقطاب بطارية رصاص حمضية مفرَّغة بأقطاب مصدر طاقة خارجي وتمرير الكهرباء.

(أ) اختر الكلمات المناسبة لوضعها في النص بدلًا من (i) إلى (iv) من الكلمات التالية، يمكن استخدام الكلمة نفسها بشكل متكرر:

[الأكسدة، الاختزال، النحاس، الرصاص، كبريتات النحاس (II)، كبريتات الرصاص (II)، أكسيد النحاس (II)، أكسيد الرصاص (IV)]

(ب) اكتب معادلات نصف التفاعل لكل من (I) و(II) الموضحين بخط تحت كل منها في النص، مع توضيح انتقال الإلكترونات.

(جـ) باستخدام أقطاب بلاتين، اكتب معادلة نصف التفاعل عند القطب A (الجزء I) ثم، عند استبدال أقطاب البلاتين بأقطاب نحاس، اكتب معادلة نصف التفاعل عند القطب A (الجزء II).

(د) احسب التغير في كتلة الأنود الرصاصي (−) لبطارية الرصاص الحمضية، متضمنًا الزيادة أو النقصان، لأقرب رقمين عشريين.

تحدَّ تفكيرك:

تُوصَّل خليتان تحليليتان على التوالي:

- الخلية A تحتوي على محلول $CuSO_4$.
- الخلية B تحتوي على محلول $AgNO_3$.

أثناء التحليل الكهربائي، ترسب 10.8 g من الفضة في الخلية B.

دون استخدام المثال من الدرس مباشرةً:

١. حدِّد عدد مولات الفضة الناتجة. .....

٢. احسب عدد مولات الإلكترونات المنقولة. .....

٣. احسب كتلة النحاس المترسب في الخلية A. .....

٧-٢ — سرعة التفاعل

مقدمة

قد تستغرق قطعة من الحديد متروكة في الهواء الطلق شهورًا أو سنوات لتصدأ، بينما يمكن لقرص فوّار يُسقَط في الماء أن يبدأ التفاعل بشكل شبه فوري. في الصناعة، يجب أن تحدث بعض التفاعلات بسرعة لزيادة الإنتاج، بينما يجب إبطاء تفاعلات أخرى لأسباب تتعلق بالسلامة.

في هذا الدرس، سنستكشف كيف تُقاس سرعة التفاعل وكيف تساعد النماذج الرياضية العلماء على فهم العوامل التي تتحكم في التغير الكيميائي.

؟ سؤال توجيهي: لماذا تحدث بعض التفاعلات الكيميائية خلال ثوانٍ بينما تستغرق أخرى أيامًا أو أشهرًا أو حتى سنوات؟ وكيف يمكن للكيميائيين التنبؤ بسرعة التفاعل؟

تعلم

١. مفهوم سرعة التفاعل:

تتفاوت التفاعلات الكيميائية تفاوتًا كبيرًا، بدءًا من التفاعلات السريعة اللحظية إلى التفاعلات البطيئة التي تستغرق وقتًا طويلًا جدًّا.

- **مثال على تفاعل سريع:**

تكوّن راسب أبيض من كلوريد الفضة عند إضافة محلول مائي من كلوريد الصوديوم إلى محلول مائي من نترات الفضة.

- **مثال على تفاعل بطيء:**

الأكسدة البطيئة للنحاس والحديد بفعل الرطوبة الجوية والأكسجين في الهواء الطلق، مما يؤدي إلى تكوُّن الصدأ.

حتى التفاعل نفسه يمكن أن يتغير معدله اعتمادًا على ظروف التفاعل مثل درجة الحرارة والضغط.

طبيعة العلم: تحديد المتغيرات

يبحث الطلاب كيف تؤثر درجة الحرارة على سرعة التفاعل من خلال ملاحظة التفاعل بين قرص فوّار والماء.

1. ما المتغير المستقل؟ .....
2. ما المتغير التابع؟ .....
3. ما المتغيرات التي ينبغي التحكم فيها لضمان اختبار عادل؟ .....

٢. تعريف سرعة التفاعل والتعبير عنها:

سرعة التفاعل: النقصان في كمية المتفاعل أو الزيادة في كمية الناتج لكل وحدة زمن. يُعتبر التغير في كمية المادة عادةً على أنه التغير في التركيز.

$$\text{سرعة التفاعل } v = \frac{\text{مقدار النقصان في التركيز المولاري للمتفاعلات}}{\text{زمن التفاعل}} \quad \text{أو} \quad = \frac{\text{مقدار الزيادة في التركيز المولاري للنواتج}}{\text{زمن التفاعل}}$$

بنية العلم

حقيقة أساسية:

يعتمد معدل التفاعل على تركيز المواد المتفاعلة ودرجة الحرارة، وتُوصَف هذه العلاقة من خلال معادلة السرعة التي يتم تحديدها عمليًّا (تجريبيًّا).

المفاهيم الأساسية:

- معدل التفاعل
- التركيز
- معادلة المعدل
- ثابت المعدل

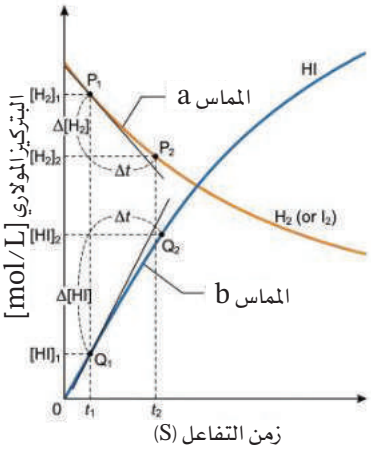
٣. نسبة سرعات التفاعل والمعاملات الكيميائية المتكافئة:

رغم أن التغير في التركيز المولاري لكل وحدة زمن يختلف باختلاف المادة التي نقوم بدراستها في تفاعل كيميائي، فإن نسبة سرعات التفاعل لكل مادة تساوي نسبة معاملاتها الكيميائية المتكافئة في المعادلة الكيميائية الموزونة.

مثال: عندما يوضع الهيدروجين واليود في وعاء مغلق ويُسخَّنان إلى درجة حرارة ثابتة، يحدث التفاعل التالي، ينتج يوديد الهيدروجين:

$$H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$$

سرعة اختفاء H_2 أو I_2 : سرعة HI $= 1 : 2$



الشكل 2.7.1
معدل التفاعل ومعاملات الكيميائية المتكافئة

٤. معادلة سرعة التفاعل:

تُعبّر معادلة سرعة التفاعل عن العلاقة بين سرعة التفاعل والتركيزات المولارية للمواد الداخلة في التفاعل.

بالنسبة لتفاعل يُمثَّل بالمعادلة الكيميائية $A + B \rightarrow C + D$، وبافتراض أن سرعة التفاعل هي v، والتراكيز المولارية للمتفاعلين A وB هي $[A]$ و$[B]$، وأن k وa وb ثوابت، يمكن التعبير عن معادلة السرعة (قانون السرعة) كما يلي:

$$v = k[A]^a [B]^b$$

ثابت السرعة (k): وهو ثابت التناسب في معادلة السرعة. تكون قيمة k ثابتة إذا كانت درجة الحرارة ثابتة، لكنها تتغير إذا تغيرت درجة الحرارة.

رتبة التفاعل (a ، b): هما رتبتا التفاعل بالنسبة للمتفاعلين A وB على التوالي. يجب تحديد هاتين القيمتين تجريبيًّا، ولا تتطابقان بالضرورة مع المعاملات الكيميائية المتكافئة في المعادلة الكيميائية.

صندوق المعادلات:

الكمية	التعبير	ملاحظات
سرعة التفاعل	$v = \frac{-\Delta[\text{reactant}]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{product}]}{\Delta t}$	التغير لكل وحدة زمن؛ عادةً كتغير في التركيز
نسبة السرعة	السرعة $\propto$ المعامل الكيميائي المتكافئ	مثال: لـ $H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$ السرعات $H_2 : I_2 : HI = 1 : 1 : 2$
معادلة السرعة (قانون السرعة)	$v = k[A]^a[B]^b$	a، b رتبتا التفاعل – تُوجَدان تجريبيًّا
ثابت السرعة k	ثابت التناسب	ثابت عند درجة حرارة محددة؛ يتغير عند تغير T

تطبيق حياتي

الثلاجات والمجمدات: وضع الطعام القابل للتلف في الثلاجة يخفض درجة الحرارة، مما يبطئ بشكل كبير التفاعلات الكيميائية والحيوية التي تؤدي إلى فساد الطعام أو تكاثر البكتيريا.

مثال:

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) في التفاعل الافتراضي $A + B \rightarrow C$ بتغيير تراكيز A و B، وُجدت سرعة التفاعل اللحظية لكل منها v ، وكانت النتائج الموضحة في الجدول أدناه هي التي تم الحصول عليها.

التجربة	[A] [mol/L]	[B] [mol/L]	v [mol/(L·s)]
1	0.30	1.20	3.6×10^{-2}
2	0.30	0.60	9.0×10^{-3}
3	0.60	0.60	1.8×10^{-2}

(**i**) عبِّر عن العلاقة بين [A] و [B] و v كمعادلة سرعة التفاعل، مع جعل ثابت السرعة k.

(**ii**) احسب قيمة ثابت السرعة k لأقرب رقمين عشريين.

(ب) بالنسبة لتفاعل معين، يتضاعف ثابت السرعة عندما ترتفع درجة الحرارة بمقدار 10 K من درجة حرارة الغرفة. في هذا التفاعل، عندما تتغير درجة حرارة التفاعل من 25°C إلى 55°C ، بأي عامل تزداد السرعة v؟

الشرح

(أ) (**i**) من واقع التجربتين (1) و (2)، يتبين أنه عند خفض تركيز [B] إلى النصف، تقل السرعة v إلى $\frac{1}{4}$ ؛ مما يدل على أن السرعة v تتناسب طرديًّا مع مربع تركيز [B]

وبالمثل، من واقع التجربتين (2) و(3)، يتبين أنه عند مضاعفة تركيز [A] ، تتضاعف السرعة v؛ مما يدل على أن السرعة v تتناسب طرديًّا مع الأس الأول لتركيز [A]. وبناءً على ذلك، فإن $v = k[A][B]^2$

(**ii**) بمجرد تحديد معادلة السرعة (قانون السرعة)، يمكن إيجاد ثابت السرعة k من واقع النتائج التجريبية. ومن نتائج التجربة (3):

$$1.8 \times 10^{-2}\ \text{mol/(L.s)} = k \times (0.60\ \text{mol/L}) \times (0.60\ \text{mol/L})^2$$

$$K = \frac{(1.8 \times 10^{-2}\ \text{mol/(L.s)}}{(0.60\ \text{mol/L}) \times (0.60\ \text{mol/L})^2} = 0.0833\ \text{L}^2/(\text{mol}^2.\text{s}) \approx 8.3 \times 10^{-2}\ \text{L}^2/(\text{mol}^2.\text{s})$$

(ب) التغير من 25°C إلى 55°C يزيد درجة الحرارة بمقدار 30K.

بما أن ثابت السرعة يتضاعف عند كل ارتفاع 10K في درجة الحرارة، فعندما ترتفع درجة الحرارة بمقدار 30 K يزداد ثابت السرعة بعامل $2^3 = 8$.

لذلك، يصبح ثابت السرعة 8 أضعاف القيمة الأصلية.

فكّر كعالم كيميائي:

طورت شركة أدوية دواءً يتحلل بسرعة كبيرة جدًّا أثناء التخزين.

فكر في إجابة الأسئلة التالية:

- هل ينبغي تخزين الدواء عند درجات حرارة عالية أم منخفضة؟ .....
- ما العوامل التي يمكن أن تبطئ تفاعل التحلل؟ .....
- كيف يمكن بمعرفة سرعة التفاعل أن تحافظ على سلامة المنتج؟ .....

حاول بنفسك:

١. عند إضافة 10.0 mL من محلول فوق أكسيد الهيدروجين بتركيز 1.00 mol/L إلى كمية صغيرة من أكسيد المنجنيز(IV)، يتحلل فوق أكسيد الهيدروجين ويتصاعد غاز الأكسجين. وبعد دقيقتين من بداية التفاعل أصبح تركيز فوق أكسيد الهيدروجين 0.64 mol/L.

أجب عن الأسئلة التالية لأقرب رقمين عشريين

(أ) ما سرعة تحلل فوق أكسيد الهيدروجين بوحدة mol/(L·s) خلال هذه الفترة الزمنية؟

(ب) ما سرعة إنتاج غاز الأكسجين بوحدة mol/s؟

الإجابة: .....

٢. في تفاعل ما ينتج C من تفاعل A وB عند 25°C، تضاعفت سرعة تكوُّن v ، C، أربع مرات عندما تضاعف (A) فقط، ونقصت إلى $\frac{1}{4}$ من قيمتها الأصلية عند نقص (B) فقط للنصف $\left(\frac{1}{2}\right)$. أجب عن الأسئلة التالية.

(أ) بجعل ثابت السرعة k، اكتب معادلة السرعة التي تعبِّر عن العلاقة بين v و(A) و (B).

الإجابة: .....

(ب) عندما يتضاعف كل من (A) و (B)، بأي عامل تزداد v؟

الإجابة: .....

٣. في تفاعل ما ينتج C من تفاعل A و B . وُجد أن السرعة v لتكوّن C [mol/ (L·s)] تتغير بتغيير التركيزات المولارية [A] و[B]، كانت النتائج التي تم الحصول عليها كما في الجدول التالي.

التجربة	[A] [mol/L]	[B] [mol/L]	v [mol/(L·s)]
(i)	0.30	0.60	0.0090
(ii)	0.30	1.20	0.036
(iii)	0.60	0.60	0.018

(أ) اكتب معادلة السرعة التي تعبِّر عن العلاقة بين [A] و[B] وv. افترض أن ثابت التناسب هو k.

الإجابة: .....

(ب) ماذا يُسمى ثابت التناسب k؟

الإجابة: .....

(جـ) أوجد قيمة ثابت التناسب k لأقرب رقمين عشريين.

الإجابة: .....

تدرب:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. في التفاعل $H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$، فإن سرعة تكوّن HI مقارنةً بسرعة اختفاء H_2:

(أ) 1:1 (ب) 2:1

(جـ) 1:2 (د) 4:1

الإجابة: .....

٢. أي من الكميات التالية تتغير عندما تتغير درجة الحرارة؟

(أ) رتبة التفاعل (ب) المعامل الكيميائي المتكافئ

(جـ) ثابت السرعة (k) (د) المعادلة الموزونة

الإجابة: .....

٣. في تفاعل ما ينتج C من تفاعل A و B عند 25°C، عند زيادة [A] للضعف. تضاعفت سرعة تكوُّن C، v، ونقصت إلى $\frac{1}{4}$ من قيمتها الأصلية عندما قل [B] للنصف $\frac{1}{2}$.

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) اكتب وحدة قياس v. افترض أن وحدة الزمن هي بالدقائق [min].

الإجابة: .....

(ب) بجعل ثابت السرعة k، اكتب معادلة السرعة التي تعبِّر عن العلاقة بين v و[A] و [B].

الإجابة: .....

(جـ) عندما يُضاعَف [A] ثلاث مرات ويُضاعَف [B] أربع مرات، بأي عامل تزداد v؟

الإجابة: .....

تحدَّ تفكيرك:

يتبع أحد التفاعلات قانون السرعة: $v = k[A][B]^2$. ضاعف أحد الطلاب كلا المتفاعلين في آنٍ واحد.

فكر:

– بأي عامل تزداد سرعة التفاعل؟

الإجابة: .....

– أي متفاعل له التأثير الأكبر على سرعة التفاعل؟

الإجابة: .....

– تنبأ بما سيحدث إذا نُصِّف [A] بينما بقي [B] ثابتًا.

الإجابة: .....

٨-٢ — العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل

مقدمة

تصدأ قطعة من الحديد متروكة في الهواء الطلق ببطء على مدى شهور، بينما يحترق شعلة نارية (سباركل) خلال ثوانٍ. قد يبقى محلول فوق أكسيد الهيدروجين مستقرًا في زجاجة لأسابيع، ومع ذلك يفور بشدة عند سكبه على جرح. لماذا تحدث بعض التفاعلات على الفور تقريبًا بينما تستغرق أخرى سنوات؟

في هذا الدرس، سنبحث كيف تؤثر عوامل مثل التركيز، ودرجة الحرارة، والعوامل الحفازة، ومساحة السطح، والضوء في سرعة التفاعلات الكيميائية، وكيف يستخدم العلماء الأدلة لتفسير هذه التغيرات.

سؤال توجيهي: كيف يمكننا التحكم في سرعة تفاعل كيميائي لجعل العمليات أكثر أمانًا وأسرع وأكثر كفاءة؟

الاستكشاف

تحقيق قائم على الاستقصاء:

المواد:

- أقراص فوّارة.
- ثلاث كئوس.
- ماء بدرجات حرارة مختلفة (بارد، درجة حرارة الغرفة، ساخن).
- ساعة توقيت.

الإجراء:

١. ضع أحجامًا متساوية من الماء في ثلاث كئوس.

٢. اضبط درجات الحرارة لتكون باردة، ودرجة حرارة الغرفة، وساخنة.

٣. أضف أقراصًا متماثلة في الوقت نفسه.

٤. قِس الزمن اللازم لكل قرص لكي يذوب تمامًا.

ما ملاحظتك؟ .....

ما استنتاجك؟ .....

تعلم

١. العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل

(أ) التفاعلات الكيميائية وتصادم الجسيمات:

تحدث التفاعلات الكيميائية عندما تتصادم الجسيمات مثل الذرات والجزيئات والأيونات المكوّنة للمادة مع بعضها البعض. تؤدي زيادة عدد تصادمات الجسيمات إلى زيادة سرعة التفاعل.

(ب) الظروف التي تغيّر سرعة التفاعل:

(١) **التركيز:** كلما زاد تركيز المتفاعلات، زادت سرعة التفاعل.

(٢) **درجة الحرارة:** مع ارتفاع درجة الحرارة، تزداد سرعة التفاعل زيادة كبيرة.

(٣) **العامل الحفاز:** مادة تزيد من سرعة التفاعل دون أن تخضع هي نفسها لأي تغير كيميائي.

- **الحفاز المتجانس:** حفاز له نفس حالة المتفاعلات.
- **الحفاز غير المتجانس:** حفاز يوجد في حالة تختلف عن حالة المتفاعلات.
- **الإنزيم:** حفاز يعمل داخل كائن حي. يتكون من بروتينات.

بنية العلم

حقيقة أساسية:

لا يحدث التفاعل الكيميائي إلا عندما تصطدم الجسيمات بطاقة كافية تتجاوز حاجز طاقة التنشيط.

المفاهيم الأساسية:

- العامل الحفاز.
- العامل الحفاز المتجانس.
- العامل الحفاز غير المتجانس.
- الإنزيم.
- الحالة الانتقالية.
- طاقة التنشيط.

(٤) **مساحة سطح المادة الصلبة:** زيادة مساحة سطح المادة الصلبة تزيد من سرعة التفاعل.

مثال: عندما تُضاف الكمية نفسها من حمض الهيدروكلوريك إلى شريط ماغنيسيوم ومسحوق ماغنيسيوم، يتولد الهيدروجين بمعدل أسرع في حالة المسحوق.

(٥) **التفاعل الضوئي الكيميائي:** قد تحدث تفاعلات كيميائية عندما تمتص مادة طاقة ضوئية.

حل المشكلات:

تريد شركة كيميائية زيادة سرعة إنتاج منتج دون زيادة كمية المتفاعلات.

السؤال: أي تعديل سيزيد سرعة التفاعل بأكبر فعالية؟

(أ) خفض درجة الحرارة (ب) إضافة محفز مناسب

(جـ) تقليل مساحة سطح المتفاعلات (د) تخفيف المتفاعلات

.....

التفسير: .....

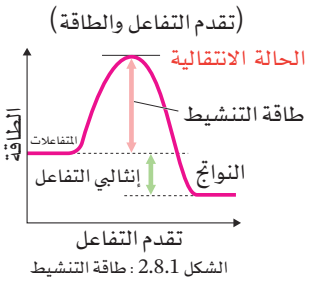
٢. طاقة التنشيط

(أ) **الحالة الانتقالية:** حالة عالية الطاقة يحدث عندها إعادة ترتيب الذرات.

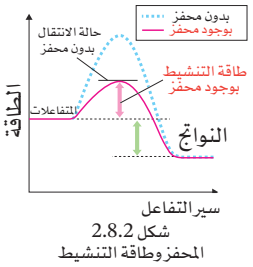
وعندما يسير التفاعل الكيميائي، تمر الجسيمات المتصادمة عبر هذه الحالة.

(ب) **طاقة التنشيط:** الحد الأدنى من الطاقة اللازم لوصول المتفاعلات إلى الحالة الانتقالية (انظر الشكل 2.8.1).

- لكي يسير التفاعل الكيميائي، يجب أن تتصادم الجسيمات بطاقة تساوي طاقة التنشيط أو أعلى منها.



الشكل 2.8.1 : طاقة التنشيط



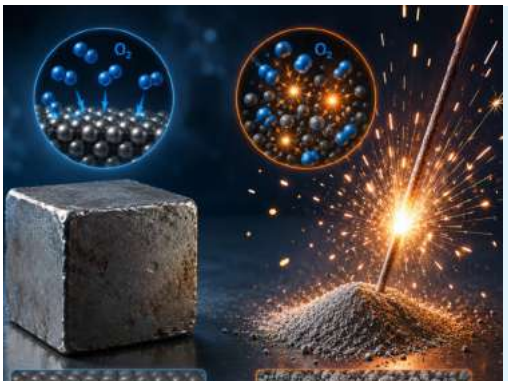
شكل 2.8.2
المحفز وطاقة التنشيط

(جـ) **الحفاز وطاقة التنشيط:** يزيد استخدام المحفز من سرعة التفاعل.

السبب: لأن الحفاز يوفر مسارًا بديلًا للتفاعل بطاقة تنشيط أقل، مما يجعل من الأسهل على المتفاعلات الوصول إلى الحالة الانتقالية.

جدول مرجعي — العوامل التي تغيّر سرعة التفاعل:

العامل	التأثير على السرعة	السبب
التركيز ↑	تزداد السرعة	تصادمات جسيمية أكثر تكرارًا
درجة الحرارة ↑	تزداد السرعة زيادة كبيرة	عدد أكبر من التصادمات بطاقة ≥ طاقة التنشيط
المحفز	تزداد السرعة	يوفر مسارًا بديلًا بطاقة تنشيط أقل
مساحة السطح ↑	تزداد السرعة	مساحة تلامس أكبر / تصادمات أكثر
الضوء (تفاعل ضوئي)	يمكن أن يبدأ تفاعلًا	تمتص المادة طاقة ضوئية



تطبيق حياتي:

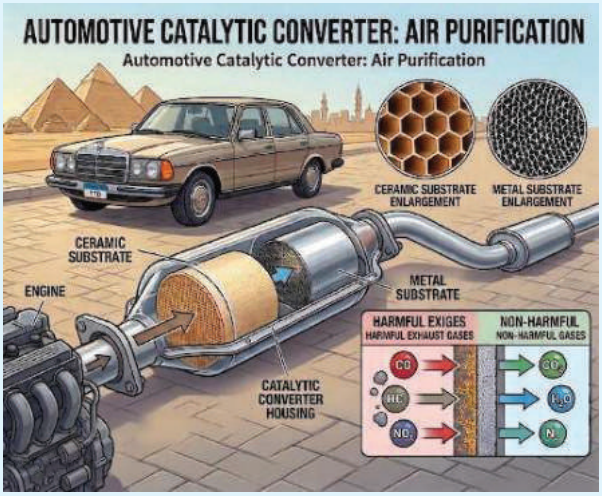
عندما يكون فلز مثل الحديد أو الألومنيوم موجودًا كقطعة صلبة كبيرة، فإنه يتفاعل ببطء نسبيًّا مع أكسجين الهواء الجوي.

لكن عندما يُطحَن الفلز إلى مسحوق ناعم ويُستخدم في الألعاب النارية أو الشعلات النارية، فإنه يحترق بسرعة وينتج ضوءًا ساطعًا وشررًا وحرارة.

تطبيق حياتي:

المحفزات في حياتنا اليومية: المحفز الثلاثي لتنقية عادم السيارات:

تحتوي غازات عادم السيارات على مواد ضارة مثل أول أكسيد الكربون (CO)، والهيدروكربونات غير المحترقة، وأكاسيد النيتروجين (NO_x). ولتحويل هذه المواد بسرعة إلى نواتج غير ضارة هي ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والماء (H_2O) وغاز النيتروجين (N_2)، يُستخدم المحفز الثلاثي.



(i) زيادة سرعة التفاعل باستخدام المحفز على الرغم من أن المواد الضارة الموجودة في غازات العادم يمكن أن تتفاعل طبيعيًّا مع الأكسجين لتتحول إلى مواد غير ضارة حتى في غياب المحفز، فإن معدل هذا التفاعل يكون بطيئًا للغاية، ولا يكفي لمعالجة التدفق المستمر لغازات العادم الناتجة أثناء قيادة السيارة.

يعمل المحفز الثلاثي، الذي يعتمد على معادن خاملة مثل البلاتين (Pt) والبلاديوم (Pd)، على خفض طاقة التنشيط اللازمة للتفاعلات بشكل كبير؛ مما يسمح بإتمام التفاعلات في زمن قصير جدًّا، وبالتالي تنقية غازات العادم بكفاءة عالية.

(ii) لماذا يُستخدم التركيب الخلوي؟

يتكون المحفز الثلاثي في صورته العملية من شبكة خزفية دقيقة ذات تركيب خلوي يشبه خلايا النحل، ويُعرف هذا التصميم باسم التركيب الخلوي.

يُستخدم هذا الشكل لزيادة مساحة السطح المعرضة للتلامس بين المحفز وغازات العادم إلى أقصى حد ممكن. ونظرًا لأن سرعة التفاعل تتناسب طرديًّا مع مساحة التلامس بين المواد المتفاعلة وسطح المحفز، فإن هذا التصميم يتيح تنقية كميات كبيرة من غازات العادم بكفاءة عالية داخل حيز صغير ومحدود.

مثال:

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) تصف العبارات التالية من (i) إلى (iv) العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل. اختر العامل الأكثر ارتباطًا بها من A إلى E

(i) يُخزَّن محلول فوق أكسيد الهيدروجين عند درجة حرارة منخفضة.

(ii) عند وضع فوق أكسيد هيدروجين مخفف على الجلد، لا يُلاحَظ تغير معين، لكن عند وضعه على جرح، يفور بشدة.

(iii) عند وضع قطعة صغيرة من الزنك في حمض الهيدروكلوريك بتركيز 1 mol/L ومحلول حمض الخليك المائي على التوالي، ينتج غاز الهيدروجين بسرعة أكبر في حمض الهيدروكلوريك.

(iv) يُحفظ حمض النيتريك في زجاجة كهرمانية اللون (بنية داكنة).

A. التركيز B. درجة الحرارة C. الضوء D. المحفز E. الضغط

(ب) يوضح الشكل المقابل العلاقة بين مسار التفاعل والطاقة لتفاعل معين مع حفاز وبدون حفاز.

(i) هل هذا التفاعل تفاعل طارد للحرارة أم ماص للحرارة؟

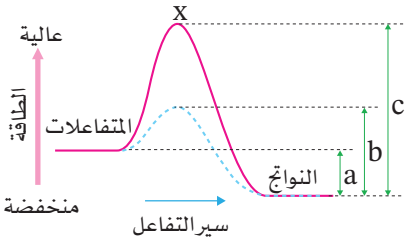
(ii) ماذا تُسمى الحالة X؟

(iii) عبّر عن القيم التالية باستخدام من a إلى c في الشكل:

١. طاقة التنشيط بدون عامل حفاز

٢. طاقة التنشيط باستخدام عامل حفاز

٣. إنثالبي التفاعل باستخدام عامل حفاز



الشرح

(أ) (i) بما أن سرعة التفاعل تزداد عندما تكون درجة الحرارة مرتفعة، يُحفَظ عند درجة حرارة منخفضة لجعل التفاعل أقل احتمالًا للحدوث **B**.

(ii) عند وضعه على جرح، تعمل الإنزيمات الموجودة في الأنسجة الحية كمحفزات، مما يزيد سرعة التفاعل زيادة كبيرة **D**.

(iii) بما أن كلوريد الهيدروجين حمض قوي وحمض الخليك حمض ضعيف، فإن تركيز أيونات الهيدروجين $[H^+]$ أكبر في حمض الهيدروكلوريك، مما ينتج عنه سرعة تكوّن أكبر للهيدروجين **A**.

(iv) بما أن حمض النيتريك يتحلل بسهولة بفعل الضوء، يُخزَّن في زجاجة كهرمانية عازلة للضوء. C

(ب) (i) من الشكل، تنقص الطاقة بسبب التفاعل. النقصان في الطاقة يشير إلى تفاعل طارد للحرارة، يُطلق طاقة أثناء التفاعل.

(ii) حالة الانتقال.

(iii) يمثل الخط المتصل ذو طاقة التنشيط الأعلى التفاعل بدون حفاز، ويمثل الخط المتقطع التفاعل في وجود حفاز.

A: طاقة التنشيط هي الفرق بين الطاقة التي تمتلكها المتفاعلات والطاقة عند حالة الانتقال. لذلك: **c–a**.

B: b–a.

C: إنثالبي التفاعل هو الفرق في الطاقة بين المتفاعلات والنواتج. كذلك، بما أن الطاقة التي تمتلكها النواتج أقل من الطاقة التي تمتلكها المتفاعلات، فإن الإشارة سالبة **a–**.

حاول بنفسك:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. يُجرى تفاعلان متماثلان. في التجربة A، يُستخدم مسحوق كربونات الكالسيوم؛ وفي التجربة B، تُستخدم قطع رخام كبيرة. أي عبارة تفسّر بشكل أفضل لماذا تكون التجربة A أسرع؟

(أ) المسحوق له طاقة تنشيط أقل. (ب) المسحوق له مساحة سطح أكبر.

(جـ) المسحوق يزيد درجة الحرارة. (د) المسحوق يعمل كحافز.

الإجابة: .....

٢. يصبح التفاعل أسرع أربع مرات عند رفع درجة الحرارة. أي تفسير هو الأدق؟

(أ) تتكوّن جسيمات أكثر.

(ب) عدد أكبر من التصادمات لديه طاقة كافية للتفاعل.

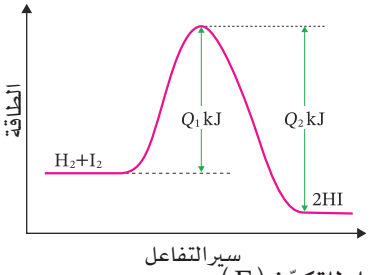
(جـ) تزداد طاقة التنشيط.

(د) تختفي المتفاعلات فورًا.

الإجابة: .....

٣. اقرأ النص التالي وأجب عن الأسئلة التي تليه:

يوضح الشكل المقابل تغير الطاقة لتفاعل الهيدروجين H_2 واليود I_2 لإنتاج يوديد الهيدروجين HI.



- طاقة التنشيط لتكوّن يوديد الهيدروجين هي kJ (A)، وإنثالبي التفاعل هو kJ (B)، وطاقة التنشيط لتحلل يوديد الهيدروجين هي kJ (C)، وإنثالبي التفاعل هو kJ (D). عندما يُضاف حفاز لزيادة سرعة التفاعل، تصبح طاقة تنشيط تفاعل التكوّن (E)، يصبح إنثالبي التفاعل للتكوّن (F).

(أ) اختر الرموز أو الكلمات المناسبة لـ A إلى F في النص من (i) إلى (vii) مما يلي:

Q_1 (i) Q_2 (ii) $Q_1 - Q_2$ (iii) $Q_2 - Q_1$ (iv)

(v) تزداد (vi) تقل (vii) لا تتغير

(ب) تزيد إضافة عامل حفاز من سرعة التفاعل. اشرح سبب ذلك.

الإجابة: .....

تحدى التصميم الهندسي:

صمم تحقيقًا بسيطًا لتحديد أي عامل له التأثير الأكبر على سرعة ذوبان قرص فوّار:

- درجة الحرارة.
- مساحة السطح.
- التركيز.

يجب على الطلاب أن:

١. يضعوا فرضية. .....

٢. يحددوا المتغيرات. .....

٣. يجمعوا البيانات. .....

٤. يتوصلوا إلى استنتاجات باستخدام الأدلة. .....

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. لكل عبارة من العبارات الآتية المتعلقة بمعدل التفاعل، اختر العامل من بنك الكلمات أدناه الذي يرتبط بالعبارة ارتباطًا وثيقًا.

ملاحظة: يمكن اختيار العامل نفسه أكثر من مرة إذا كان مناسبًا لأكثر من عبارة.

(أ) يحترق الخشب بسرعة أكبر عندما يُقسَّم إلى قطع صغيرة.

(ب) يُخزَّن حمض النيتريك المركّز في زجاجة كهرمانية.

(جـ) عند إضافة كمية صغيرة من محلول كلوريد الحديد (III) المائي إلى محلول فوق أكسيد الهيدروجين، يتولد الأكسجين بسرعة.

(د) عند إضافة كتل متساوية من الزنك إلى 10 mL من كل من حمض الهيدروكلوريك بتركيز 1 mol/L وحمض الخليك، يتولد الهيدروجين بسرعة أكبر في حمض الهيدروكلوريك.

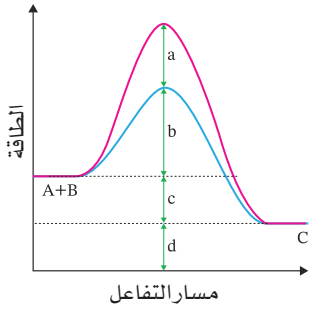
(هـ) يحترق عود البخور بسرعة أكبر في الأكسجين منه في الهواء.

(و) يُفضَّل تخزين فوق أكسيد الهيدروجين في الثلاجة إن أمكن.

[بنك الكلمات: درجة الحرارة، التركيز، الضغط، مساحة السطح، المحفز، الضوء]

الإجابة: .....

٢. يوضح الشكل المقابل التغير في حالة الانتقال للتفاعل $A + B \rightarrow C$ في وجود عامل حفاز وفي غيابه. أجب عن الأسئلة التالية:



(أ) عبّر عن الطاقات التالية باستخدام الرموز a إلى d في الشكل:

(i) طاقة تنشيط $A + B \rightarrow C$ في عدم وجود عامل حفاز

(ii) طاقة تنشيط $A + B \rightarrow C$ في وجود عامل حفاز

(iii) طاقة التنشيط عندما يحدث التفاعل $C \rightarrow A + B$ وعدم وجود عامل حفاز

(iv) إنثالبي التفاعل $A + B \rightarrow C$

(ب) هل التفاعل $A + B \rightarrow C$ تفاعل طارد للحرارة أم ماص للحرارة؟

٩-٢ — الاتزان الكيميائي

مقدمة

تخيل فتح زجاجة من مشروب غازي. بمجرد فتح الزجاجة، تبدأ الفقاعات بالهروب. إذا بقيت الزجاجة مغلقة، يبقى ثاني أكسيد الكربون ذائبًا في المشروب. لماذا يتصرف النظام بشكل مختلف عندما تتغير الظروف؟

وبالمثل، في أجسامنا، يرتبط الأكسجين ويتحرر باستمرار من الهيموجلوبين، مما يسمح بنقل الأكسجين إلى الأنسجة. تتضمن هذه العمليات تفاعلات تسير في كلا الاتجاهين وتصل في النهاية إلى اتزان يُسمى الاتزان الكيميائي.

في هذا الدرس، سنستكشف كيف تصل التفاعلات الانعكاسية إلى حالة الاتزان وكيف يستخدم الكيميائيون مفاهيم الاتزان للتنبؤ بالأنظمة الكيميائية والتحكم فيها.

؟ سؤال توجيهي: كيف يمكن لتفاعل كيميائي أن يبدو متوقفًا بينما تستمر المتفاعلات والنواتج في التفاعل؟

لاحظ وتنبأ

الملاحظة:

يضع أحد الطلاب عينة من غاز ثاني أكسيد النيتروجين البني (NO_2) في وعاء شفاف محكم الغلق. في البداية، يبدو الغاز بنيًّا داكنًا. بعد مرور بعض الوقت ...

ما ملاحظتك؟ .....

ما توقعك؟ إذا تغيرت درجة الحرارة، فقد يتحول موضع الاتزان، مما يغيّر شدة اللون مرة أخرى.

.....

تعلم

١. التفاعلات الانعكاسية وغير الانعكاسية (التامة)

(أ) **التفاعل الانعكاسي:**

تفاعل يسير في كلا الاتجاهين. يُعبَّر عنه باستخدام سهم مزدوج «⇌».

مثال: عند تسخين الهيدروجين واليود، يتكوّن يوديد الهيدروجين. وعلى العكس، عند تسخين يوديد الهيدروجين، فإنه يتحلل إلى هيدروجين ويود. $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$.

- في التفاعل الانعكاسي، يُسمى التفاعل الذي يسير نحو اليمين **بالتفاعل الطردي**، ويُسمى التفاعل الذي يسير نحو اليسار **بالتفاعل العكسي**.

(ب) **التفاعل غير الانعكاسي:**

تفاعل يسير في اتجاه واحد فقط. يُعبَّر عنه باستخدام سهم واحد «→».

مثال: عند تسخين صوف الفولاذ، يتكوّن أكسيد الحديد المغناطيسي Fe_3O_4 لكن التفاعل العكسي لا يحدث.

$$3Fe + 2O_2 \rightarrow Fe_3O_4$$

بنية العلم

حقيقة أساسية:

في حالة التوازن الكيميائي، تستمر التفاعلات الطردية والعكسية في الحدوث، ولكن بمعدلات متساوية، مما يؤدي إلى بقاء التركيزات ثابتة.

المفاهيم الأساسية:

- التفاعل الانعكاسي.
- التفاعل التام.
- الاتزان الديناميكي.
- ثابت الاتزان (K)
- التفاعل الطردي.
- التفاعل العكسي.
- طاقة التنشيط.

٢. الاتزان الكيميائي:

(أ) **حالة الاتزان الكيميائي (حالة الاتزان):** حالة تتساوى فيها معدل التفاعل الطردي والعكسي، وتظل تركيزات المتفاعلات والنواتج ثابتة.

(ب) **قانون الاتزان الكيميائي (قانون فعل الكتلة):** في التفاعل الانعكاسي الافتراضي $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$، عندما يصل التفاعل الانعكاسي إلى حالة اتزان، فإن العلاقة التالية تربط بين تركيزات المتفاعلات والنواتج $[A]$ و$[B]$ و$[C]$ و$[D]$ لكل مادة.

$$\frac{[C]^c \times [D]^d}{[A]^a \times [b]^a} = K \text{ (ثابت)}$$

ملاحظة: يُسمى K في هذه المعادلة ثابت اتزان التفاعل الكيميائي، وهو ثابت ما لم تتغير درجة الحرارة.

يُعبَّر عن ثابت الاتزان في التفاعلات بين المواد الصلبة والغازات بتركيز الغازات فقط.

وذلك لأن تركيزات المواد الصلبة النقية تظل ثابتة ولا تؤثر على معادلة الاتزان.

مثال: ثابت الاتزان للتفاعل $C_{(S)} + CO_2 \rightleftharpoons 2CO_{(g)}$ يكون: $K = \frac{[CO]^2}{[CO_2]}$

- تُحدد وحدة ثابت الاتزان عن طريق حساب الوحدات معًا.

مثال: $K = \frac{[B]}{[A]^3}$ هي $(mol/L)^{-2}$

(جـ) حساب ثابت الاتزان:

١. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة وسجّل الكمية الابتدائية للمادة (أو التركيز) لكل متفاعل وناتج.
٢. حدّد التغير في كمية المادة (أو التركيز) لكل مادة مع تقدم التفاعل نحو الاتزان.
٣. احسب كمية المادة (أو التركيز) لكل مادة عند الاتزان.
٤. عوّض بتراكيز الاتزان في معادلة ثابت الاتزان واحسب ثابت الاتزان.

(حجم الاناء) = 10L	$N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$		
	N_2O_4	$2NO_2$	
١. الابتدائي	0.50	0	[mol]
٢. التغير	−0.30	+0.60	[mol]
٣. عند الاتزان	0.20	0.60	[mol]
٤. ثابت الاتزان	$K = \frac{\left(\frac{0.6 \text{ mol}}{10 \text{ L}}\right)^2}{\left(\frac{0.20 \text{ mol}}{10 \text{ L}}\right)}$		

🤔 فكّر بشكل نقدي:

تحليل بيانات تجريبية:

يزيد العلماء غالبًا الضغط في عملية هابر لزيادة إنتاج غاز الأمونيا.

إذا كانت زيادة الضغط تتطلب طاقة أكبر وتكاليف أعلى، كيف ينبغي للمهندسين أن يقرروا ما إذا كانت الزيادة في إنتاج الأمونيا تستحق التكلفة الإضافية؟

.....

مثال:

عندما وضع 5.50 mol من الهيدروجين و 4.00 mol من اليود في وعاء سعة 100 L ويتم حفظ الوعاء عند درجة حرارة معينة، يحدث التفاعل التالي:

$$H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$$

وعند الوصول إلى حالة الاتزان، تكون 7.00 mol من يوديد الهيدروجين.

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) احسب ثابت الاتزان لهذا التفاعل لأقرب رقمين عشريين.

(ب) عندما يوضع 3.00 mol من الهيدروجين و3.00mol من اليود في الوعاء نفسه ويُحفَظان عند نفس درجة الحرارة نفسها كما في (أ)، كم عدد مولات يوديد الهيدروجين التي ستتكوّن؟ (إجابتك لأقرب رقمين عشريين)

الشرح

(أ) اكتب المعادلة الموزونة واكتب جدول تفاعل:

$H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$				
	H_2	I_2	2HI	
الابتدائي	5.50	4.00	0	[mol]
التغير	−3.50	−3.50	+7.00	[mol]
الاتزان	2.00	0.50	7.00	[mol]

ثابت الاتزان $K = \frac{[HI]^2}{[H_2]\,[I_2]}$ وبما أن حجم الوعاء 100 L، فإن ثابت الاتزان لهذا التفاعل هو:

$$K = \frac{\left(\frac{7.00\ mol}{100\ L}\right)^2}{\left(\frac{0.20\ mol}{100\ L}\right) \times \left(\frac{0.50\ mol}{100\ L}\right)} = 49$$

(ب) بافتراض أن x mol من كل من H_2 و I_2 تتفاعل للوصول إلى الاتزان، تكون كميات المادة كما يلي:

	H_2	I_2	2HI	
الابتدائي	3.00	3.00	0	[mol]
التغير	−x	−x	+2x	[mol]
الاتزان	3.00 − x	3.00 − x	2x	[mol]

بما أن ثابت الاتزان ثابت عند درجة الحرارة، فمن (أ)، ثابت الاتزان هو 49 لذلك:

$$\frac{\left(\frac{2x\ [mol]}{100\ L}\right)^2}{\left(\frac{3.00 - x\ mol}{100\ L}\right) \times \left(\frac{3.00 - x \times [mol]}{100\ L}\right)} = 49$$

$$\frac{(2x)^2}{(3.00 - x)^2} = 49 \qquad \frac{2x}{3.00 - x} = \pm 7$$

$$x = 2.33\ mol\ ,\ 4.2\ mol$$

بما أن الكميات الابتدائية من الهيدروجين واليود هي 3.00mol، يجب أن يكون x أقل من 3.00

$$x = 2.33\ mol \text{ لذلك } mol\ (0 < x < 3.00)$$

لذلك، يوديد الهيدروجين المتكوّن عند الاتزان هو $2.33 \times 2 = 4.66 \approx 4.7\ mol$

كن مواطنًا عالميًّا

تزايد ثاني أكسيد الكربون في الجو يذوب في المحيطات ويؤثر على اتزان أيونات الكربونات التي تحتاجها الشعاب المرجانية المحاريات.

حاول بنفسك:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. تم إضافة 1.00 mol من حمض الخليك إلى 1.00 mol من الإيثانول عند درجة حرارة ثابتة و عند الوصول للاتزان، تبقى 0.25 mol من حمض الخليك. إجاباتك لأقرب رقمين عشريين.

$$CH_3COOH + C_2H_5OH \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5 + H_2O$$

(أ) احسب ثابت الاتزان لهذا التفاعل.

(ب) عندما يتفاعل خليط من 1.00 mol من حمض الخليك و 1.00 mol من الإيثانول و4.00 mol من الماء ويصل إلى الاتزان عند درجة الحرارة نفسها، كم عدد مولات إستر خلات الإيثيل $CH_3COOC_2H_5$ التي تتكوّن؟

الإجابة: .....

٢. عند وضع خلط 1.00 mol من H_2 مع 1.00 mol من I_2 في وعاء له حجم ثابت عند درجة حرارة ثابتة. عند الاتزان، تكون 1.6 mol من HI. إجاباتك لأقرب رقمين عشريين.

(أ) احسب ثابت الاتزان لهذا التفاعل.

(ب) عندما يوضع 1.6 mol من كل من H_2 و I_2 في وعاء له حجم ثابت عند نفس درجة الحرارة، حدّد كمية HI عند الاتزان.

الإجابة: .....

تدرب:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. بالنسبة للتفاعل $N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$، أي مما يلي يعبر عن ثابت الاتزان K للتفاعل؟

(أ) $K = [N_2O_4]/[NO_2]^2$

(ب) $K = [NO_2]^2/[N_2O_4]$

(جـ) $K = [NO_2]/[N_2O_4]$

(د) $K = [N_2O_4]/[NO_2]$

الإجابة: .....

٢. عند فتح زجاجة مشروب غازي تتصاعد فقاعات غازية بسرعة. أي مما يلي يعتبر أدق تفسير لذلك؟

(أ) يزداد الاتزان مع انخفاض الضغط.

(ب) يصبح الماء محفزًا.

(جـ) يصبح التفاعل غير انعكاسي.

(د) ترتفع درجة الحرارة.

الإجابة: .....

أجب عن الأسئلة التالية:

٣. اكتب تعبير ثابت الاتزان بدلالة التراكيز المولارية لكل من التفاعلات التالية. كذلك، اذكر وحدات ثابت الاتزان إن أمكن. افترض أن جميع المواد غازات ما لم يُذكَر غير ذلك.

(أ) $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$

(ب) $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$

(جـ) $CO_2 + H_2 \rightleftharpoons CO + H_2O$

(د) $C_{(s)} + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2$

٤. عندما يتفاعل حمض الخليك CH_3COOH والإيثانول C_2H_5OH بوجود حمض كبريتيك مركّز كمحفز، يتكوّن خلات الإيثيل $CH_3COOC_2H_5$ والماء، ويصل النظام إلى الاتزان. أجب عن الأسئلة التالية لأقرب رقمين عشريين.

$$CH_3COOH + C_2H_5OH \rightleftharpoons CH_3COOC2H_5 + H_2O$$

(أ) عند تفاعل 5.0 mol من حمض الخليك و8.0 mol من الإيثانول، وعند الوصول لحالة الاتزان تكوّن 4.0 mol من خلات الإيثيل. احسب ثابت الاتزان K لهذا التفاعل.

(ب) عند نفس درجة الحرارة كما في (أ)، عند إضافة 8.0 mol من حمض الخليك إلى 8.0 mol من الإيثانول، كم عدد مولات خلات الإيثيل التي تتكوّن؟

الإجابة: .....

٥. عند إضافة 5.50 mol من الهيدروجين إلى 4.00 mol من اليود في وعاء سعة 100L عند درجة حرارة ثابتة. وعند الاتزان، تكون 7.00 mol من يوديد الهيدروجين. أعط إجاباتك لأقرب رقمين عشريين.

$$H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$$

(أ) اكتب تعبير ثابت الاتزان للتفاعل بدلالة التراكيز المولارية.

(ب) احسب ثابت الاتزان لهذا التفاعل.

(جـ) عندما يوضع 4.00 mol من الهيدروجين و4.00 mol من اليود في نفس الوعاء ويُحفَظان عند نفس درجة الحرارة، كم عدد مولات يوديد الهيدروجين التي ستتكوّن؟

الإجابة: .....

٢-١٠ – مبدأ لو شاتيليه

مقدمة

الأمونيا واحدة من أهم المواد الكيميائية في العالم لأنها تُستخدم في تصنيع الأسمدة التي تساعد على تغذية مليارات البشر. اكتشف العلماء أن زيادة الضغط في التفاعل:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

تُنتج كمية أكبر من الأمونيا.

إذا زاد الضغط داخل وعاء التفاعل بشكل مفاجئ، ما الذي تتوقع حدوثه لكمية الأمونيا المنتجة؟ فسّر أسباب استنتاجك.

؟ سؤال توجيهي: كيف تؤثر التغيرات في التركيز والضغط ودرجة الحرارة والعوامل الحفازة على حالة الاتزان الكيميائي؟

الاستكشاف

ينتج مصنع للأسمدة الأمونيا باستخدام غازي النيتروجين والهيدروجين. لاحظ المهندسون أن زيادة الضغط داخل المفاعل تزيد بشكل كبير من إنتاج الأمونيا، بينما تُقلل زيادة درجة الحرارة من الكمية المنتجة.

توقّع

قبل دراسة مبدأ لو شاتيليه:

ما الذي تعتقد أنه سيحدث لإنتاج الأمونيا إذا:

١. أُضيف مزيد من غاز النيتروجين؟ .....

٢. تضاعف الضغط؟ .....

٣. ارتفعت درجة الحرارة؟ .....

بنية العلم

حقيقة أساسية:

يزاح الاتزان الكيميائي في الاتجاه المعاكس لأي تغيير يؤثر على النظام.

المفاهيم الأساسية:

- التفاعلات الانعكاسية.
- الاتزان الكيميائي.
- تغير حالة الاتزان.
- التركيز.
- الضغط.
- درجة الحرارة.
- العامل الحفاز.

القانون الأساسي:

- مبدأ لوشاتيلييه.

تعلم

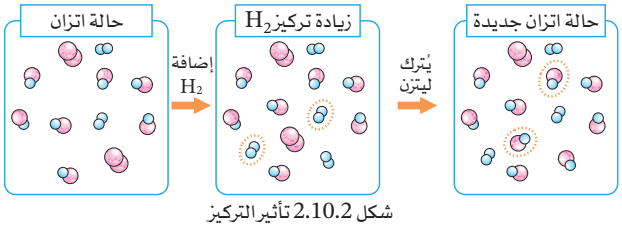
١. اتجاه إزاحة الاتزان الكيميائي:

مبدأ لو شاتيليه:

عندما يصل تفاعل انعكاسي إلى حالة اتزان، إذا تغيرت أحد العوامل المؤثرة مثل التركيز والضغط ودرجة الحرارة، يزاح الاتزان في الاتجاه الذي يُقاوم هذا التغيير، ويصل إلى حالة اتزان جديدة.

(أ) تأثير التركيز:

عندما يزداد تركيز أحد مكونات التفاعل وهو في حالة اتزان، يزاح الاتزان في الاتجاه الذي يُقلل من تركيزه.



شكل 2.10.2 تأثير التركيز

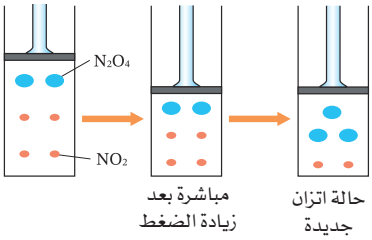
مثال: في التفاعل المتزن: $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$، بزيادة $[H_2]$

مع ثبات درجة الحرارة ، يزاح الاتزان في الاتجاه الطردي (يمينًا) و يصل إلى حالة اتزان جديدة عن طريق تقليل $[H_2]$.

(ب) تأثير الضغط:

عندما يزداد الضغط علي خليط غازي، يزاح الاتزان في الاتجاه الذي يقل فيه العدد الكلي **لجزيئات الغاز**. (الشكل 2.10.2)

في تفاعل لا يتغير فيه العدد الكلي لجزيئات الغاز قبل وبعد التفاعل، **لا يؤثر الضغط** على حالة الاتزان.



شكل 2.10.2 تأثير الضغط

(جـ) تأثير درجة الحرارة:

عند خفض درجة الحرارة، يزاح الاتزان في اتجاه التفاعل الطارد للحرارة، وعندما تُرفع درجة الحرارة، يزاح الاتزان في اتجاه التفاعل الماص للحرارة.

(د) تأثير العامل الحفاز:

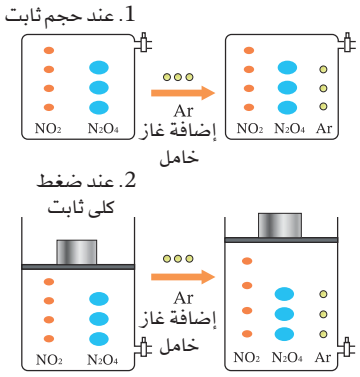
العامل الحفاز يعمل على الوصول لحالة الاتزان في زمن أقل ولكنه لا يؤثر على حالة الاتزان.

(هـ) تأثير الغاز الخامل (الشكل 2.10.3)

عندما يكون التفاعل العكسي $2NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4$ في حالة اتزان،

(i) يُضاف غاز الأرجون Ar عند درجة حرارة وحجم ثابتين عندما يكون الحجم ثابتًا، لا يتغير التركيز والضغط الجزئي للمواد المشاركة في التفاعل **ولا يتأثر الاتزان**.

(ii) يُضاف غاز الأرجون Ar عند درجة حرارة وضغط كلي ثابتين عندما يكون الضغط الكلي ثابتًا، يزداد الحجم بمقدار كمية الأرجون المضافة، فيقل الضغط الجزئي للغازات المشاركة في التفاعل داخل الوعاء. ويزاح الاتزان في الاتجاه العكسي (يسارا).

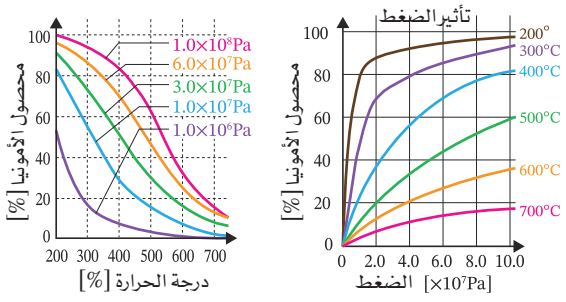


شكل 2.10.3 تأثير غاز خامل

٢. تصنيع الأمونيا

تفاعل تصنيع الأمونيا، $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$ $\Delta H = -92\ kJ$، تفاعل طارد للحرارة يقل فيه العدد الكلي للجزيئات.

← بزيادة الضغط وخفض درجة الحرارة، يزاح الاتزان في الاتجاه الطردي (يمينًا)، وتزداد نسبة إنتاج الأمونيا. (الشكل المقابل).



شكل 2.10.4 تأثير تخليق الأمونيا

تطبيق حياتي:

إنتاج الأمونيا (عملية هابر):

يعتمد الإنتاج العالمي للأسمدة على التحكم في ظروف الاتزان لتحقيق أقصى إنتاج من الأمونيا. فبدون التحكم في التوازن، لن تستطيع الزراعة الحديثة إنتاج طعام كافٍ لسكان العالم المتزايدين.

مثال:

أجب الأسئلة التالية:

(أ) الأنظمة التالية في حالة اتزان، في أي اتجاه سيزاح الاتزان عند تعرضه للتغير الموضح بين الأقواس؟
أجب بالرموز (A) يسار، (B) يمين، (C) لا يؤثر.

(i) $3O_2 \rightleftharpoons 2O_3$ (إضافة أكسجين)

(ii) $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$ (إضافة عامل حفاز)

(iii) $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$ (إضافة كلوريد الأمونيوم)

(ب) تصنع الأمونيا من خلال (تفاعل طارد للحرارة)، بخفض درجة الحرارة يزاح الاتزان يمينًا. ومع ذلك، ترفع درجة الحرارة أثناء التصنيع إلي حوالى 500°C : 400. اشرح سبب ذلك من مفهوم سرعة التفاعل.

الشرح

(أ) (i) عند إضافة الأكسجين، يزداد تركيز الأكسجين، يزاح الاتزان في الاتجاه الذي يُقلل تركيز الأكسجين. لذلك، يزاح إلى اليمين. **(B)**

(ii) عند إضافة عامل حفاز، لا يتأثر الاتزان. **(C)**

(iii) عند إضافة كلوريد الأمونيوم، يتأين في المحلول المائي، مما يزيد تركيز أيونات الأمونيوم. ويزاح الاتزان في الاتجاه الذي يستهلك أيونات الأمونيوم المضافة. يزاح إلى اليسار. **(A)**

(ب) إذا كانت درجة الحرارة منخفضة جدًا، تكون سرعة التفاعل صغيرة جدًا، ولا يمكن الحصول على المنتج في إطار زمني عملي.

طبيعة العلم: تحديد المتغيرات:

يريد طالب دراسة تأثير درجة الحرارة على توازن الأمونيا.

١. ما المتغير المستقل؟ .....

٢. ما المتغير التابع؟ .....

٣. ما المتغيرات التي ينبغي ضبطها لضمان اختبار عادل؟ .....

حاول بنفسك:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. الأنظمة التالية في حالة اتزان، في أي اتجاه سيزاح الاتزان عند تعرضه للتغير الموضح بين الأقواس؟
أجب بـ «يمين» أو «يسار» أو «لا يتأثر».

(أ) $H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O_{(l)} \quad \Delta H = -56\ kJ$ (التبريد)

(ب) $CO + 2H_2 \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)}$ (زيادة الضغط)

(جـ) $CO + 2H_2 \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)}$ (إضافة عامل حفاز)

(د) $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ (إضافة Ar عند حجم ثابت)

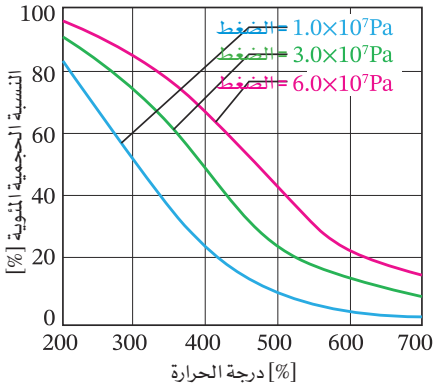
(هـ) $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ (إضافة Ar عند ضغط ثابت)

الإجابة: .....

٢. التفاعل التالي المتضمن الغازات A وB وC في حالة اتزان:

$aA + bB \rightleftharpoons cC$ (معاملات a, b, c)

والعلاقة بين النسبة الحجمية لـ C ودرجة الحرارة في حالة الاتزان لهذا التفاعل مبينة في الشكل المقابل.



أجب عن الأسئلة التالية.

(أ) أي العلاقات التالية صحيحة؟

(i) $a + b < c$ (ii) $a + b > c$

(iii) $a + b = c$

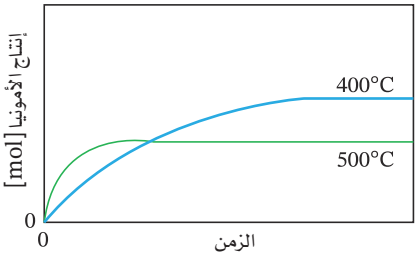
(ب) هل التفاعل الطردي لهذا التفاعل تفاعل طارد للحرارة أم ماص للحرارة؟

(جـ) مع رفع درجة الحرارة، كيف يتغير ثابت الاتزان K لهذا التفاعل؟

٣. يتم تصنيع الأمونيا من النيتروجين والهيدروجين بالتفاعل التالي:

$$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$$

عندما يتفاعل 1 mole من النيتروجين و 3 mole من الهيدروجين عند ضغط ثابت في وجود عامل حفاز (الحديد)، تزداد كمية الأمونيا المنتجة حتى يتم الوصول إلى الاتزان. يُظهر الشكل التغير في كمية الأمونيا المتكونة بمرور الوقت عند 400 °C و500 °C بخطوط متصلة. بالرجوع إلى هذا الشكل، اختر عبارة صحيحة واحدة من التالي.



(أ) تفاعل تكوين الأمونيا تفاعل ماص للحرارة.

(ب) ثابت الاتزان للمعادلة الكيميائية عند 500°C أصغر من قيمته عند 400 °C.

(جـ) تزداد سرعة تكوّن الأمونيا بمرور الوقت عند كل من 400 °C و500 °C

(د) عند التجربة عند ضغط أعلى، تزداد سرعة التفاعل، لكن كمية الأمونيا المتكونة عند الاتزان تقل.

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. الأنظمة التالية في حالة اتزان، في أي اتجاه سيزاح الاتزان عند تعرضه للتغير الموضح؟
أجب بـ «يمين» أو «يسار» أو «لا ينتقل».

(أ) $2HI \rightleftharpoons H_2 + I_{2(g)}$ (إضافة HI)

(ب) $2NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4$ (إزالة NO_2)

(جـ) $2HI \rightleftharpoons H_2 + I_{2(g)}$ $\Delta H = 9$ kJ (رفع درجة الحرارة)

(د) $2NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4$ $\Delta H = -57$ kJ (خفض درجة الحرارة)

(هـ) $2HI \rightleftharpoons H_2 + I_{2(g)}$ (زيادة الضغط)

(و) $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$ (إضافة Ar عند ضغط ثابت)

(ز) $C_{(s)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO + H_2$ (زيادة الضغط)

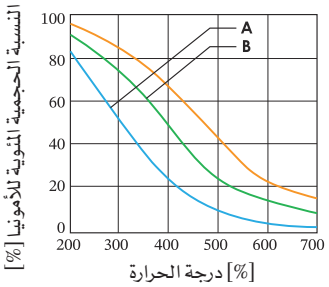
(ح) $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$ (إضافة عامل مساعد)

الإجابة: .....

٢. المعادلة الكيميائية التالية تعبر عن تفاعل تكوين الأمونيا.

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

عندما تُفاعَل خليط غازي من النيتروجين والهيدروجين بنسبة 1:3 تحت ضغوط 1.0×10^7 Pa و 3.0×10^7 Pa و 6.0×10^7 Pa عند درجات حرارة مختلفة، تم الحصول على النتائج المبينة في الشكل المقابل.



أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) حدد الضغط بالباسكال الذي يمثله كل من المنحنيين A وB في الشكل، على التوالي.

(ب) بناءً على الشكل، هل تكوّن الأمونيا تفاعلًا طاردًا للحرارة أم ماصًّا للحرارة؟

٢-١١ — الاتزان الأيوني

مقدمة

تخيّل فتح زجاجتين تحتويان على سائل شفاف؛ كلتاهما يبدو كالماء النقي، ومع ذلك، عند غمس مقياس التوصيل الكهربائي، نجد أن المحلول الأول يجعل المصباح يضيء بقوة، بينما ينتج الثاني ضوءًا خافتًا. وفي حالة أخرى، لا يُظهر محلول ثالث أي استجابة كهربائية على الإطلاق، على الرغم من ذوبانه التام في الماء.

في هذا الدرس، سنستكشف كيف يستخدم الكيميائيون مفاهيم تكون الأيونات والاتزان الكيميائي لتفسير تفاوت التوصيل الكهربائي للمحاليل، وكيف تحدد هذه العمليات غير المرئية سلوك المادة في الماء.

سؤال توجيهي: كيف يمكن للعلماء تفسير وتوقع السلوك الكهربائي للمحاليل بناءً على مدى تكوّن الأيونات في الماء؟

الاستكشاف

الكتروليت قوي، إلكتروليت ضعيف، لا إلكتروليت؟

عند إذابة المواد التالية في الماء:

- حمض الهيدروكلوريك (HCl)
- حمض الأسيتيك (CH_3COOH)
- الجلوكوز ($C_6H_{12}O_6$)

بدون دراسة الدرس:

- ما المادة التي ينتج عنها أكبر عدد من الأيونات؟ .....
- ما المادة التي لن ينتج عنها أيونات؟ .....
- ما المادة التي ستنتج تيارًا كهربائيًّا ضعيفًا؟ .....

سجّل أفكارك الأولية وراجعها بعد دراسة الإلكتروليتات و الاتزان الأيوني.

تعلم

١. طبيعة الإلكتروليتات: القوية والضعيفة

عندما تذوب مادة في الماء، تسمى الظاهرة التي تتحول فيها الجزيئات أو الصيغ إلى أيونات بالتأين (أو التفكك الأيوني).

تُصنَّف المواد بصفة عامة إلى قسمين بناءً على مدى تفككها، والمعروف بدرجة التفكك (ألفا، α).

- الإلكتروليتات القوية (الأحماض القوية والقواعد القوية):

مواد تتفكك جميع جزيئاتها إلى أيونات في محلولها المائي (تأين تام)، مثل كلوريد الهيدروجين (HCl) وهيدروكسيد الصوديوم ($NaOH$) و تعتبر درجة تفككها $\alpha \approx 1$

- الإلكتروليتات الضعيفة (الأحماض الضعيفة والقواعد الضعيفة):

مواد يتفكك جزء صغير جدًّا من جزيئاتها إلى أيونات في محلولها المائي (تأين غير تام)، مثل حمض الأسيتيك (CH_3COOH) والأمونيا (NH_3). بينما تبقى النسبة الأكبر على شكل جزيئات.

بنية العلم

حقائق أساسية:

- الإلكتروليتات القوية تفككيا كليًا إلى أيونات في المحاليل المائية.
- أما الإلكتروليتات الضعيفة تتأين جزئيًا وتصل إلى حالة اتزان في الماء.
- تعتمد قدرة التوصيل الكهربي على عدد الأيونات الحرة في المحلول.

المفاهيم الأساسية:

- التفكك.
- التأين.
- الإلكتروليت.
- الإلكتروليت القوي.
- الإلكتروليت الضعيف.
- درجة التفكك (α).
- الاتزان الديناميكي.
- ثابت التفكك (K_a).
- التوصيل الأيوني.
- حركة الأيونات.
- الذوبان.

٢. الاتزان كتفاعل انعكاسي:

عند ذوبان إلكتروليت ضعيف في الماء، يحدث تفاعلان متزامنان: التفاعل الطردي (تأين الجزيئات إلى أيونات) والتفاعل العكسي (اتحاد الأيونات لتكوين الجزيئات مرة أخرى). وبمرور الوقت، تتساوى سرعة كلا التفاعلين، ويتوقف التغير الظاهري. وتُسمى هذه الحالة باتزان التفكك (الاتزان الأيوني).

مثال: يمكن التعبير عن الاتزان الأيوني لحمض الأسيتيك كما يلي:

$$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$$

في حالة هذه الحالة من الاتزان، وبافتراض ثبات درجة الحرارة، يتكون ما يعرف بـ «ثابت التفكك» (ثابت التأين) (Ka).

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-]\,[H^+]}{[CH_3COOH]}$$

ملاحظة: Ka ثابت يعتمد فقط على درجة الحرارة ولا يتغير بتغير التركيز.

لنُثبت رياضيًّا لماذا تزداد درجة التفكك (α) عند تخفيف محلول الكتروليت ضعيف (تقليل التركيز)

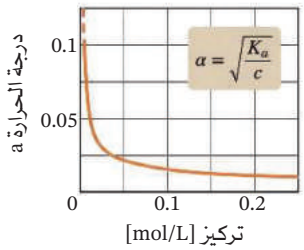
المادة	التركيز الابتدائي	التغير في التركيز	تركيز الاتزان
CH_3COOH	C	$-c\alpha$	$c(1-\alpha)$
CH_3COO^-	0	$+c\alpha$	$c\alpha$
H^+	0	$+c\alpha$	$c\alpha$

بالتعويض في صيغة K_a:

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-]\,[H^+]}{[CH_3COOH]} = \frac{c\alpha \times c\alpha}{c\,(1-\alpha)} = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha}$$

بما أن α صغيرة جدًّا مقارنة بـ 1، ولذلك للحمض الضعيف ($\alpha < 1$)، يمكننا التقريب، واعتبار أن $1-\alpha \approx 1$

وبالتالي، $Ka \approx c\alpha^2$، ومنها $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}}$



الشكل 1.11.2 العلاقة بين تركيز حمض الخليك ودرجة التأين (القيم المحسوبة)

توضح هذه المعادلة أنه كلما قل التركيز c (أي كان المحلول أكثر تخفيفًا)، زادت درجة التفكك α.

فكّر بشكل نقدي:

يدّعي طالب:

«حمض الأسيتيك حمض ضعيف لأنه لا يذوب جيدًا في الماء.»

الادعاء – الدليل – التبرير.

يُقيّم الطلاب:

- هل الادعاء صحيح علميًّا؟ .....
- ما الفرق بين الذوبانية والتأين؟ .....
- هل يمكن أن تكون مادة قابلة للذوبان بدرجة عالية ولكنها ضعيفة التأين؟

اشرح. .....

٣. حاصل تأين الماء (Kw) وعلاقته بدرجة الحرارة:

– حتى الماء النقي يتأين بدرجة صغيرة جدًّا.

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

يمكن استنتاج الحاصل الأيوني للماء (K_w) من هذا الاتزان.

$$K_w = [H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}\ (mol/L)^2 \quad (at\ 25°C)$$

من المهم ملاحظة أن تأين الماء تفاعل ماص للحرارة. ووفقًا لقاعدة لوشاتيلييه، فإن رفع درجة الحرارة يُزيح الاتزان نحو اليمين، وهو الاتجاه الذي يُعزز التفكك. وهذا يعني أنه كلما ارتفعت درجة الحرارة، تزداد قيمة ثابت تأين الماء (K_w). ونتيجة لذلك، المحلول المتعادل سيصبح له تركيز أيونات هيدروجين $[H^+]$ أكبر من 1.0×10^{-7} mol/L ، مما يؤدي إلى الحصول على قيمة أس هيدروجيني (pH) أقل من 7.

٤. تعريف الأس الهيدروجيني (pH)

يُعد الأس الهيدروجيني (pH) طريقة موجزة للتعبير عن قوة الحمضية أو القاعدية باستخدام اللوغاريتم العشري.

$$pH = -\log_{10} [H^+]$$

ملاحظة:

بالنسبة للمحلول القاعدي (القلوي)، فإن الإجراء المعتاد هو حساب تركيز أيونات الهيدروكسيل $[OH^-]$ أولًا، ثم استخدام العلاقة $Kw = [H^+][OH^-]$، لإيجاد تركيز أيونات الهيدروجين $[H^+]$. وبدلاً من ذلك، يمكنك حساب الأس الهيدروكسيلي باستخدام العلاقة $pOH = -\log_{10} [OH^-]$ ثم استخدام العلاقة:

$$pH + pOH = 14 \quad (\text{عند } 25°C).$$

تطبيق حياتي:

الإتزان الأيوني في الحياة الواقعية:

مفهوم الإلكتروليتات أساسي في:

- انتقال الإشارات العصبية البشرية (حركة الأيونات في الخلايا)
- المحاليل الملحية الطبية (تركيز أيوني دقيق)
- البطاريات والخلايا الكهروكيميائية.
- عمليات التحليل الكهربي الصناعية.

تحدد الإلكتروليتات الضعيفة والقوية مدى كفاءة انتقال الشحنة في الأنظمة الحيوية والصناعية.

مثال:

أجب عن الأسئلة التالية:

(أ) احسب pH لمحلول حمض الأسيتيك المائي تركيزه 0.10 mol/L (درجة التفكك 0.016) لأقرب رقم عشري. $(\log_{10} 1.6 = 0.2)$

(ب) محلول أمونيا تركيزه 0.020 M عند 25°C، إذا علمت أن ثابت تفكك الأمونيا $K = 1.8 \times 10^{-5}$ mol/L وأن حاصل تأين الماء $K_w = 1.0 \times 10^{-14}\ mol^2/L^2$. احسب كلًا مما يأتي:

$(\log_{10} 2.0 = 0.30\ ,\ \log_{10} 3.0 = 0.48)$

(i) درجة تفكك محلول الأمونيا المائي.

(ii) تركيز أيون الهيدروكسيد.

(iii) pH لأقرب لأقرب رقم عشري.

الشرح

(أ) بما أن $pH = -\log_{10}[H^+]$، أولًا أوجد تركيز أيون الهيدروجين $[H^+]$.

وبما أن حمض الأسيتيك (CH_3COOH) حمض أحادي البروتون، فإن $[H^+]$ = التركيز المولاري للحمض × درجة التفكك.

ومنها يمكن حساب $[H^+]$ كالتالي:

$$[H^+] = 1 \times 0.10\ mol/L \times 0.016 = 1.6 \times 10^{-3}\ mol/L$$

ومنه يمكن حساب pH:

$$pH = -\log_{10}[H^+] = -\log_{10}(1.6 \times 10^{-3}) = -(\log_{10} 1.6 + \log_{10} 10^{-3}) = -(0.2-3) = 2.8$$

(ب) (i) لتكن α درجة التفكك. باستخدام التركيز الابتدائي C وثابت التفكك K، والتعويض في العلاقة:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{c}}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1.8 \times 10^{-5}\ mol\backslash L}{0.020\ mol/L}} = \sqrt{9.0 \times 10^{-4}} = 3.0 \times 10^{-2}$$

(ii) بما أن الأمونيا (NH_3) يذوب في الماء ليعطي أيون هيدروكسيد واحد لكل جزيء، فإن:

$[OH^-]$ = التركيز المولاري للقاعدة × درجة التفكك، ومن (i)، درجة التفكك هي 3.0×10^{-2}

ومنها يمكن حساب $[OH^-]$ كالتالي:

$$[OH^-] = 1 \times 0.020\ mol/L \times 3.0 \times 10^{-2} = 6.0 \times 10^{-4}\ mol/L$$

(iii) بما أن $pH = -\log_{10}[H^+]$، أوجد أولاً تركيز أيون الهيدروجين $[H^+]$.

من حاصل تأين الماء $Kw = 1.0 \times 10^{-14}\ mol^2/L^2$،

فإن $[H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}\ mol^2/L^2$

منها فإن:

$$[H^+] = -\frac{1.0 \times 10^{-14}\ mol^2\backslash L^2}{[OH^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}\ mol^2\backslash L^2}{6.0 \times 10^{-4}\ mol/L} = \frac{1.0}{6.0} \times 10^{-10}\ mol/L$$

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

$$= -\log_{10}\left(\frac{1.0}{6.0} + 10^{-10}\right)$$

$$= -\left\{\log_{10}\left(\frac{1.0}{6.0}\right) + \log_{10} 10^{-10}\right\}$$

$$= -(\log_{10} 6.0^{-1} + \log_{10} 10^{-10})$$

$$= -(-\log_{10} 6.0 + \log_{10} 10^{-10})$$

$$= \log_{10} 6.0 - \log_{10} 10^{-10}$$

$$= \log_{10}(2.0 \times 3.0) - \log_{10} 10^{-10}$$

$$= \log_{10} 2.0 + \log_{10} 3.0 - \log_{10} 10^{-10}$$

$$= 0.30 + 0.48 - (-10) = 10.78 \approx 10.8 \quad 10.8$$

تفسير البيانات:

المادة	درجة الحرارة الابتدائية °C	التوصيل الكهربائي
HCl	مرتفعة	مرتفع جدًّا
CH_3COOH	مرتفعة	منخفض
الجلوكوز	مرتفعة	لا يوصل

فكِّر كعالم كيمياء:

١. ما المادة التي تُعد إلكتروليت قويًّا؟ .....

٢. ما المادة التي تُعد إلكتروليت ضعيفًا؟ .....

٣. ما المادة التي تُعد غير متأينة؟ .....

٤. ما الدليل الذي يدعم تصنيفك؟ .....

حاول بنفسك:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. أفضل وصف للإلكتروليت القوي هو:

(أ) يتأين جزئيًّا

(ب) يتأين تأينًا تامًّا في محلوله المائي

(جـ) غير قابل للذوبان في الماء

(د) لا يوصل التيار الكهربي

الإجابة: .....

٢. أي مما يلي يعد إلكتروليت ضعيفًا؟

(أ) NaCl

(ب) HCl

(جـ) CH_3COOH

(د) الجلوكوز

الإجابة: .....

أجب عن الأسئلة التالية:

٣. احسب قيمة pH لكل من المحاليل التالية: (علمًا بأن $K_w = 1.0 \times 10^{-14}\ mol^2/L^2$)

$(\log_{10}2.0 = 0.3\ ,\ \log_{10}5.0 = 0.7)$

(أ) حمض هيدروكلوريك تركيزه 0.020 mol/L (درجة التفكك 1.0)

(ب) حمض أسيتيك مائي تركيزه 0.050 mol/L (درجة التفكك 0.050)

(جـ) محلول هيدروكسيد الباريوم المائي تركيزه 0.025 mol/L (درجة التفكك 1.0).

(د) محلول أمونيا مائي تركيزه 0.050 mol/L (درجة التفكك 0.020).

الإجابة: .....

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. احسب pH للمحاليل المائية التالية عند 25°C لأقرب رقم عشري.

(بفرض أن حاصل تأين الماء $(K_w = 1.0 \times 10^{-14}\ mol^2/L^2)$، $\log_{10}2.0 = 0.30$، $\log_{10}1.5 = 0.18$ –)

(أ) حمض كبريتيك تركيزه 0.0050 mol/L

(ب) محلول حمض أسيتيك مائي تركيزه 0.20 mol/L (درجة التفكك 0.016)

(جـ) محلول هيدروكسيد الصوديوم المائي تركيزه 0.10 mol/L

(د) محلول أمونيا مائي تركيزه 0.10 mol/L (درجة التفكك 1.5×10^{-2})

الإجابة: .....

٢. المعادلة التالية تعبر عن اتزان أيوني للأمونيا في محلوله المائي:

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

بفرض أن ثابت تفكك الأمونيا Kb يساوي 1.8×10^{-5}،

وأن حاصل تأين الماء هو $K_w = 1.0 \times 10^{-14}\ mol^2/L^2$

وأن درجة تفكك الأمونيا أقل بكثير من 1

أجب عن الأسئلة التالية.

(أ) عبّر عن درجة تفكك الأمونيا α للأمونيا في محلول أمونيا مائي تركيزه C [mol/L] باستخدام c و K_b.

(ب) احسب تركيز أيون الهيدروكسيد $[OH^-]$ في محلول أمونيا مائي تركيزه 2.0 mol/L لأقرب رقمين عشريين.

(جـ) احسب pH لمحلول الأمونيا المائي في (ب) لأقرب رقم عشري.

(بفرض أن: $\log_{10}2 = 0.30$ و $\log_{10}3 = 0.48$)

الإجابة: .....

تحدَّ تفكيرك:

يقارن كيميائيًا بين محلولين:

- 0.1M HCl
- 0.1 M CH_3COOH

كلاهما أحماض، لكن أحدهما فقط يوصل التيار الكهربي بدرجة كبيرة.

- هل يمكن تحديد درجة التوصيل الكهربي بالتركيز فقط؟ .....
- ما الدور الذي يلعبه التأين؟ .....
- هل يمكن للأحماض الضعيفة أن تصبح موصلات قوية؟ تحت أي شرط؟

.....

- اشرح باستخدام مفهوم الاتزان الأيوني. .....

١٢-٢ — الأملاح والمحاليل المائية

مقدمة

عندما تضيف حمض الهيدروكلوريك إلى محلول أسيتات الصوديوم، لا يبدو أن شيئًا مثيرًا يحدث في النظرة الأولى. لكن على المستوى الجزيئي، تبدأ منافسة خفية: تتصادم الأيونات، وتتفاعل، وتتغير مواضع الاتزان باستمرار.

في حالة أخرى، يؤدي إضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى ملح أمونيوم إلى ظهور رائحة نشادر ملحوظة – دليل على أن قاعدة ضعيفة قد تحررت من ملحها.

في هذا الدرس، سنستكشف كيف يحدد الاتزان أي حمض أو قاعدة يبقى في المحلول وكيف تتحكم الأملاح في حموضة أو قلوية الماء.

سؤال توجيهي: كيف يحدد الاتزان الأيوني ما إذا كان الحمض الضعيف أو القاعدة الضعيفة سيتفكك في المحلول المائي؟

استطلاع المفاهيم السابقة

استنتج نواتج التفاعلات التالية:

- $CH_3COONa + HCl \rightarrow ?$
- $NH_4Cl + NaOH \rightarrow ?$

وبدون دراسة الدرس:

- ما توقعك لنتيجة تفاعل حمض قوي مع ملح حمض ضعيف؟ .....
- ما توقعك لنتيجة تفاعل قاعدة قوية مع ملح قاعدة ضعيفة؟ .....
- لماذا تنتج بعض الأملاح محاليل حمضية أو قاعدية في الماء؟ .....

تعلم

١. طرد الأحماض الضعيفة والقواعد الضعيفة

(أ) **طرد الأحماض الضعيفة:** عندما يُضاف حمض قوي إلى ملح حمض ضعيف، يتكون ملح الحمض القوي وحمض ضعيف.

مثال:

$$\underset{\text{ملح حمض ضعيف}}{CH_3COONa} + \underset{\text{حمض قوي}}{HCl} \rightarrow \underset{\text{ملح حمض قوي}}{NaCl} + \underset{\text{حمض ضعيف}}{CH_3COOH}$$

(ب) **طرد القواعد الضعيفة:** عندما تُضاف قاعدة قوية إلى ملح قاعدة ضعيفة، يتكون ملح القاعدة القوية وقاعدة ضعيفة.

مثال:

$$\underset{\text{ملح قاعدة ضعيفة}}{NH_4Cl} + \underset{\text{قاعدة قوية}}{NaOH} \rightarrow \underset{\text{ملح قاعدة قوية}}{NaCl} + \underset{\text{قاعدة ضعيفة}}{NH_4OH}$$

بنية العلم

الحقائق الأساسية:

- يمكن للأحماض القوية والقواعد القوية أن تحل محل الأحماض الضعيفة والقواعد الضعيفة في أملاحها.
- تقاوم المحاليل المنظمة التغيرات في الرقم الهيدروجيني (pH) بسبب التحكم في اتزان الأيونات.

المفاهيم لأساسية:

- اتزان أيوني.
- تفاعل الحمض والقاعدة
- التحلل المائي للملح.
- تفاعل الإزاحة.
- الحمض الضعيف.
- القاعدة الضعيفة.
- الحمض القوي.
- القاعدة القوية.
- المحلول المنظم.
- زوج الحمض والقاعدة المترافقان.
- استقرار الأس الهيدروجيني.

٢. الأملاح والمحاليل المائية:

(أ) **تصنيف الأملاح**

(i) **الملح العادى (المتعادل):** ملح لا يظهر (H) الحمض ولا (OH) القاعدة في صيغته الكيميائية.
مثال: كربونات الصوديوم Na_2CO_3

(ii) **ملح حمضي:** ملح يظهر (H) الحمض في صيغته الكيميائية. **مثال:** بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$

(iii) **ملح قاعدي:** ملح يظهر (OH) القاعدة في صيغته الكيميائية **مثال:** هيدروكسي كلوريد الكالسيوم $CaCl(OH)$

(ب) **المحاليل المائية للأملاح العادية:**

بشكل عام، العلاقة بين تركيب الملح العادي وتأثير محلوله المائي كما يلي:

(i) حمض ضعيف + قاعدة قوية ← **قاعدي**

(ii) حمض قوي + قاعدة ضعيفة ← **حمضي**

(iii) حمض قوي + قاعدة قوية ← **متعادل**

(جـ) **المحاليل المائية للأملاح الحمضية:**

(i) محلول بيكربونات الصوديوم المائي $NaHCO_3$:
قاعدى

(لأن أيون HCO_3^- الناتج عن التأين يتفاعل مع H_2O , ويكون OH^-).

(ii) محلول كبريتات الصوديوم الهيدروجينية المائي $NaHSO_4$:
حمضى

(لأن أيون HSO_4^- الناتج عن التأين. يتأين ليعطي H^+

٣. عمل المحلول المنظم:

(أ) **عمل التنظيم:** القدرة على مقاومة التغيرات في pH حتى عند إضافة كمية صغيرة من حمض أو قاعدة.

(ب) **المحلول المنظم:** محلول مائي يُظهر خاصية عمل التنظيم. وعموماً، يُستخدم محلول مائي خليط من حمض ضعيف وملحه أو قاعدة ضعيفة وملحها.

(جـ) آلية عمل المحلول المنظم (في حالة محلول مائي مختلط من حمض الأسيتيك وأسيتات الصوديوم):

حمض الأسيتيك حمض ضعيف، وأسيتات الصوديوم ملح لحمض الأسيتيك.

في المحلول المائي، يتأين حمض الأسيتيك وأسيتات الصوديوم.

تأين حمض الأسيتيك: $CH_3COOH \rightleftarrows CH_3COO^- + H^+$

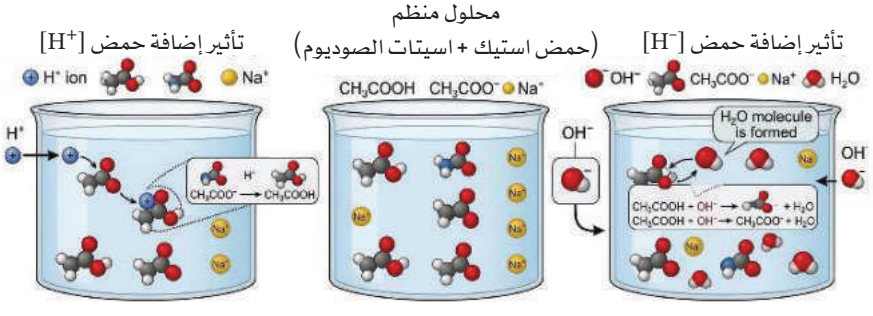
تأين أسيتات الصوديوم: $CH_3COONa \rightarrow CH_3COO^- + Na^+$

(i) عند إضافة H^+، يتفاعل H^+ مع CH_3COO^- لتكوين جزيئات حمض الأسيتيك CH_3COOH.

$CH_3COO^- + H^+ \rightarrow CH_3COOH$ لا يكاد يزداد $[H^+]$

(ii) عند إضافة OH^-، يتفاعل مع جزيئات حمض الأسيتيك لتكوين جزيئات ماء H_2O.

$CH_3COOH + OH^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$ لا يكاد يزداد $[H^+]$



⚠ التصورات الخطأ

✗ **فكرة خاطئة:**
«كل الأملاح تُنتج محاليل متعادلة.»

✓ **الصحيح:**
يعتمد pH لمحلول الملح على قوة الحمض والقاعدة اللذين تكوّن منهما الملح.

✗ **فكرة خاطئة:**
«المحلول المنظم يمنع الأحماض والقواعد من التفاعل.»

✓ **الصحيح:**
يسمح المحلول المنظم بحدوث التفاعلات لكنه يُقلل من التغيرات في pH من خلال تغيرات حالة الاتزان.

جدول مرجعي — الأملاح والمحاليل المنظمة في لمحة:

ملح عادى من...	خاصية المحلول
حمض قوي + قاعدة قوية	متعادل
حمض قوي + قاعدة ضعيفة	حمضي
حمض ضعيف + قاعدة قوية	قاعدي
ملح حمضي – $NaHCO_3$ / $NaHSO_4$	قاعدي / حمضي
محلول منظم (حمض ضعيف + ملحه)	يقاوم تغير pH
إضافة H^+ إلى المحلول المنظم	$CH_3COO^- + H^+ \rightarrow CH_3COOH$
إضافة OH^- إلى المحلول المنظم	$CH_3COOH + OH^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$

مثال:

(أ) اكتب المعادلة الكيميائية للتفاعل الحادث عند إضافة حمض الهيدروكلوريك إلى محلول بيكربونات الصوديوم المائي.

(ب) اذكر ما إذا كانت المحاليل المائية للأملاح التالية حمضية أم قاعدية أم متعادلة.

$NaCl$ (i) $Ba(NO_3)_2$ (ii) NH_4Cl (iii) CH_3COONa (iv)

(جـ) أدخل المعادلات الأيونية المناسبة في [A] و[B]، وكلمة مناسبة في (C) في النص التالي:

واختر العناصر المناسبة لـ { D } و{ E } من (i) إلى (v) أدناه:

– عند إضافة كمية صغيرة من حمض الهيدروكلوريك إلى محلول مائي مختلط يحتوي على كميات متساوية من حيث المول من حمض الأسيتيك وأسيتات الصوديوم، يحدث تفاعل [A]، ويبقى تركيز أيون الهيدروجين ثابتًا تقريبًا. كما أنه عند إضافة كمية صغيرة من محلول هيدروكسيد الصوديوم المائي، يحدث تفاعل [B]، ويظل تركيز أيون الهيدروكسيد ثابتًا تقريبًا. يُسمى هذا المحلول المائي (C)، وتحدث ظاهرة مماثلة في محلول مائي مختلط يحتوي على كميات متساوية من حيث المول من المواد الموجودة في { D } و{ E }.

NH_3 (i) HCl (ii) NaCl (iii) NH_4Cl (iv) CH_3COOH (v)

الشرح

(أ) بما أن بيكربونات الصوديوم ملح لحمض ضعيف وحمض الهيدروكلوريك حمض قوي، يتكون كلوريد الصوديوم، وهو ملح لحمض قوي، ويُزاح الحمض الضعيف، حمض الكربونيك.

$$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + H_2O + CO_2$$

(ب) (i) $NaCl$ ملح عادي مشتق من حمض قوي HCl وقاعدة قوية NaOH. لذلك، فهو متعادل.

(ii) $Ba(NO_3)_2$ ملح عادي مشتق من الحمض القوي HNO_3 والقاعدة القوية $Ba(OH)_2$. لذلك، فهو متعادل.

(iii) NH_4Cl ملح عادي مشتق من الحمض القوي HCl والقاعدة الضعيفة NH_3. لذلك، فهو حمضي.

(iv) CH_3COONa ملح عادي مشتق من الحمض الضعيف CH_3COOH والقاعدة القوية NaOH. لذلك، فهو قاعدي.

كن مواطنًا عالميًا

فهم المحلول المنظم يساعد العلماء على:

– تطوير أدوية أكثر أمانًا ومحاليل وريدية.

– رصد وحماية الأنظمة البيئية المائية من التحمض.

– تحسين تقنيات حفظ الأغذية.

– الحفاظ على ظروف مستقرة في العمليات الصناعية والحيوية.

– تعتمد العديد من تطبيقات الاستدامة والرعاية الصحية على التحكم في توازن التأين والتنظيم.

(جـ) **A:** $CH_3COO^- + H^+ \rightarrow CH_3COOH$

B: $CH_3COOH + OH^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$

C: محلول منظم

D، E: محلول مائي مختلط من الأمونيا NH_3 (قاعدة ضعيفة) وكلوريد الأمونيوم (ملح للأمونيا)، يُظهر فعل التنظيم. (iv) ،(i) (بأي ترتيب)

نشاط تفسير البيانات:

pH النهائي بعد إضافة HCl	pH الابتدائي	المحلول
3.0	7.0	الماء المقطر
4.7	4.8	محلول منظم CH_3COOH / CH_3COONa
.....	7.0	الجلوكوز

فكِّر كعالم كيمياء

١. ما المحلول الذي قاوم تغير pH بأكبر فعالية؟ .....

٢. ما الدليل الذي يدعم استنتاجك؟ .....

٣. كيف استجاب الاتزان للحمض المضاف؟ .....

٤. ما المحلول الذي يُظهر فعل التنظيم؟ .....

حاول بنفسك:

أجب عن الأسئلة التالية:

١. اكتب المعادلة الكيميائية المتزنة لكل من التفاعلات التالية:

(أ) إضافة حمض الهيدروكلوريك إلى محلول أسيتات البوتاسيوم المائي.

(ب) إضافة محلول هيدروكسيد الكالسيوم المائي إلى محلول كلوريد الأمونيوم المائي.

٢. اذكر ما إذا كانت المحاليل المائية للأملاح التالية حمضية أم قاعدية أم متعادلة.

(أ) KNO_3 (ب) $(NH_4)_2SO_4$ (جـ) Na_2CO_3 (د) $NaHSO_4$

٣. اقرأ النص التالي وأجب عن الأسئلة:

حمض الأسيتيك حمض ضعيف، يتأين تأينًا غير تام في محلوله المائي، ويصل إلى حالة الاتزان الموضحة بالمعادلة (i) ..... $CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$

عند إضافة أسيتات الصوديوم إلى هذا المحلول المائي، يتفكك الملح بالكامل، فيزداد تركيز [A]، ووفقًا لمبدأ لو شاتيليه، يزاح الاتزان إلى (B). نتيجة لذلك، يقل تركيز H^+، مما يؤدي إلى محلول مائي تتوفر فيه كميات كبيرة من [C] و[D].

عند إضافة كمية صغيرة من حمض الهيدروكلوريك إلى هذا المحلول المائي المختلط، يتحرك اتزان المعادلة (i) إلى الاتجاه (E)، و $[F]_{(l)}$ الناتج من حمض الهيدروكلوريك يتحد مع الكمية الكبيرة من CH_3COO^- الموجودة ليصبح [G]. لذلك، يبقى تركيز $[H^+]$ في المحلول المائي المختلط ثابتًا تقريبًا.

كذلك، عند إضافة كمية صغيرة من هيدروكسيد الصوديوم إلى المحلول المائي المختلط، (II) ينتج [I] من هيدروكسيد الصوديوم يتفاعل مع CH_3COOH. لذلك، يبقى تركيز [J] في المحلول المائي ثابتًا تقريبًا. تُسمى هذه الوظيفة التي تحافظ على pH المحلول ثابتًا تقريبًا (K).

(أ) أدرج الصيغ الكيميائية المناسبة في [ ]، والكلمات المناسبة في ( ) في النص. يمكن إدراج العنصر نفسه عدة مرات.

.....

(ب) اكتب المعادلة الأيونية للتفاعل في الجزء الذي تحته خط (I).

.....

(جـ) اكتب المعادلة الأيونية للتفاعل في الجزء الذي تحته خط (II).

.....

فكّر بشكل نقدي:

يقارن عالم بين محلولين:

- **المحلول A**: حمض أسيتيك فقط.
- **المحلول B**: حمض أسيتيك + أسيتات صوديوم.

تُضاف نفس الكمية من حمض الهيدروكلوريك إلى كلا المحلولين.

قيّم الوضع:

١. أي محلول سيشهد تغيرًا أصغر في pH؟ .....

٢. ما الأيون المسئول بشكل أساسي عن مقاومة زيادة تركيز H^+؟ .....

٣. كيف يزاح الاتزان بعد إضافة أيونات H^+؟ .....

٤. لماذا يُعتبر المحلول المنظم نظام اتزان ديناميكي؟ .....

تدرب:

اختر الإجابة الصحيحة:

١. أي من الأملاح التالية يعطي محلولاً مائيًا حمضيًّا؟

(أ) $NaCl$

(ب) $Ba(NO_3)_2$

(جـ) NH_4Cl

(د) CH_3COONa

الإجابة: .....

٢. أي من المعادلات الأيونية التالية تُفسّر عمل محلول أسيتات المنظم عند إضافة حمض؟

(أ) $CH_3COOH + OH^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$

(ب) $CH_3COO^- + H^+ \rightarrow CH_3COOH$

(جـ) $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

(د) $NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3 + H_2O$

الإجابة: .....

٣. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعل بين المواد التالية:

(أ) $NaOH$ ، NH_4Cl

(ب) H_2SO_4 ، CH_3COONa

الإجابة: .....

٤. اقرأ النص التالي وأجب عن الأسئلة:

(I) عند إذابة أسيتات الصوديوم في الماء، تتفكك إلى أيونات أسيتات وأيونات صوديوم. يتفاعل جزء من أيونات الأسيتات مع جزيئات الماء لإنتاج أيونات هيدروكسيد، لذا يكون المحلول المائي (A) ضعيف.

(أ) أدرج كلمة مناسبة في (A). واكتب المعادلة الأيونية للتفاعل في (I)

(ب) اذكر ما إذا كان كل من المحاليل المائية التالية حمضيًا أم قاعديًا أم متعادلًا.

(i) حجمان متساويان من حمض هيدروكلوريك 0.10 mol/L
وهيدروكسيد بوتاسيوم 0.10 mol/L

(ii) حجمان متساويان من حمض أسيتيك 0.10 mol/L
وهيدروكسيد بوتاسيوم 0.10 mol/L

(iii) حجمان متساويان من حمض الهيدروكلوريك 0.10 mol/L
ومحلول أمونيا مائي 0.10 mol/L

الإجابة: .....

١٣-٢ — حاصل الإذابة

مقدمة

عند مزج محلولين أحدهما شفاف وعديم اللون، والآخر أصفر اللون. في البداية، لا يظهر أي تغير. وفجأة، تظهر مادة صلبة ذات لون أحمر قرمزي وتترسب في قاع الكأس. من أين أتت هذه المادة الصلبة؟

على المستوى المجهري، تتحرك الأيونات الذائبة باستمرار في المحلول. وتبقى ذائبة، بينما في أحيان أخرى تتحد لتكوّن راسبًا. ولتفسير ذلك يستخدم الكيميائيون مفهوم الذوبانية وثابت حاصل الإذابة (Ksp) للتنبؤ بدقة بموعد حدوث الترسيب.

في هذا الدرس، سنستكشف كيف يتحكم الاتزان بين الأيونات الذائبة والمواد الصلبة، وكيف يستخدم العلماء Ksp للتنبؤ بالتغيرات الكيميائية في الأنظمة الطبيعية والصناعية.

؟ سؤال توجيهي: كيف يمكن للكيميائيين التنبؤ بما إذا كانت الأيونات الذائبة ستبقى في المحلول أم ستكوّن راسبًا؟

الاستكشاف

عند مزج محلول يحتوي على أيونات Ag^{+} مع محلول يحتوي على أيونات CrO_4^{-2}.

بدون دراسة الدرس:

- هل ستبقى الأيونات ذائبة؟

.....

- هل يمكن أن تتكون مادة صلبة رغم أن كلا المحلولين شفافان في البداية؟

.....

- ما العوامل التي قد تحدد ما إذا كان الترسيب سيحدث أم لا؟

.....

سجّل أفكارك وراجعها بعد دراسة اتزان الذوبانية.

بنية العلم

حقيقة أساسية:

يتحقق اتزان الذوبانية عندما يكون معدل الذوبان مساويًا لمعدل الترسيب.

- ثابت حاصل الإذابة (Ksp) يعتمد فقط على درجة الحرارة

المفاهيم لأساسية:

- اتزان الذوبانية.
- حاصل الإذابة (Ksp).
- المحلول المشبع.
- الاتزان الديناميكي.
- الذوبان.
- الترسيب.
- الحاصل الأيوني.
- تركيز الأيونات.
- ملح شحيح الذوبان.

تعلم

حاصل الإذابة

(أ) **اتزان الذوبانية:** حالة تحدث في المحلول المشبع يتساوى فيها معدل الذوبان مع معدل الترسيب، ولا يُلاحظ أي تغير ظاهري على المستوى المرئي.

(ب) **حاصل الإذابة:** حاصل ضرب تركيزات الأيونات المذابة عند اتزان الذوبانية.

يُرمز له بالرمز Ksp ويبقى ثابتًا مع ثبات درجة الحرارة.

(جـ) **التعبير عن حاصل الإذابة:**

عند ملح شحيح الذوبان في الماء A_aB_b يتكون من (A^{m+}, B^{n+}) في الاتزان التالي،

$$A_aB_b \rightleftharpoons aA^{m+} + bB^{n-} \qquad (am = bn)$$

يُعبَّر عن حاصل الإذابة K_{sp} كما يلي:

$$Ksp = [A^{m+}]^a [B^{n-}]^b$$

مثال: بالنسبة لكرومات الفضة Ag_2CrO_4، عندما يُنشأ توازن الذوبانية

$$Ag_2CrO_4 \rightleftharpoons 2Ag^{+} + CrO_4^{2-}$$

حاصل الإذابة: $Ksp = [Ag^+]^2[CrO_4^{2-}]$

(د) حاصل الإذابة والترسيب:

يتم تحديد ما إذا كان الترسيب سيحدث في محلول مائي من خلال مقارنة حاصل ضرب التركيزات المولارية للأيونات بثابت حاصل الإذابة.

مثال: في حالة كرومات الفضة Ag_2CrO_4:

- عندما $Ksp \leq [Ag^+]^2[CrO_4^{2-}]$، لا يحدث ترسيب.
- عندما $Ksp > [Ag^+]^2[CrO_4^{2-}]$، يحدث ترسيب.

(عندما تتحقق المساواة، يُنشأ توازن ذوبانية)

مثال:

عند إمرار غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S في محلول مائي يحتوي على $1.0 \times 10^{-4}\ mol/L$ من أيونات الرصاص (II) Pb^{2+}، فأصبح تركيز أيون الكبريتيد $1.0 \times 10^{-20}\ mol/L$

أجب عن الأسئلة التالية.

(أ) اكتب المعادلة الأيونية عند اتزان الذوبانية.

(ب) عبّر عن حاصل الإذابة K_{sp}.

(جـ) هل يحدث ترسيب لكبريتيد الرصاص (II) PbS؟ بفرض أن حاصل إذابة PbS هو $Ksp = 1.0 \times 10^{-28}\ mol^2/L^2$.

الشرح

(أ) يتأين كبريتيد الهيدروجين إلى ($2H^+$ ، S^{2-}) في المحلول المائي، تتفاعل أيونات (Pb^{2+}) مع أيونات (S^{2-}) ويتكون راسب من PbS.

$$Pb^{2+} + S^{2-} \rightleftharpoons PbS(s)$$

(ب) من (أ)، بما أن جميع معاملات المعادلة الكيميائية تساوي 1، فإن:

$$Ksp = [Pb^{2+}][S^{2-}]$$

(جـ) قارن حاصل ضرب التركيزات المولارية للأيونات، الذي يُعبَّر عنه بنفس صيغة K_{sp}، مع K_{sp}.

بافتراض أن ترسيب PbS لا يحدث ، و حيث إن :

$[Pb^{2+}] = 1.0 \times 10^{-4}\ mol/L$ و $[S^{2-}] = 1.0 \times 10^{-20}\ mol/L$

فإن:

$$[Pb^{2+}][S^{2-}] = 1.0 \times 10^{-4}\ mol/L \times 1.0 \times 10^{-20}\ mol/L = 1.0 \times 10^{-24}\ mol^2/L^2$$

وبما أن $Ksp = 1.0 \times 10^{-28}\ mol^2/L^2$

فإن $[Pb^{2+}][S^{2-}] > Ksp$

لذلك، يحدث ترسيب.

التصورات الخطأ

✗ فكرة خاطئة: «إذا كانت مادة صلبة مرئية في محلول، فإن الاتزان قد توقف.»

✓ الصحيح: يستمر الاتزان لأن الذوبان والترسيب يحدثان في الوقت نفسه وبمعدلات متساوية.

نشاط تفسير البيانات:

تحليل البيانات التجريبية

المحلول	$[Ag^+]$ (mol/L)	$[CrO_4^{2-}]$ (mol/L)	حاصل الأيونات
A	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-12}
B	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-6}

بافتراض: $Ksp\ (Ag_2CrO_4) = 1.0 \times 10^{-11}$

فكّر كعالم كيمياء:

١. في أي محلول يكون الترسيب أكثر احتمالاً؟ .....

٢. أي محلول له حاصل أيونات أكبر من Ksp؟ .....

٣. ما الدليل الذي يدعم استنتاجك؟ .....

٤. ماذا يحدث عندما يتجاوز حاصل الأيونات قيمة Ksp؟ .....

حاول بنفسك:

أجب عن الأسئلة التالية:

محلول مائي يكون به التركيز المولاري لأيونات الماغنسيوم (Mg^{2+}) يساوي 1.0×10^{-3}، يبدأ ترسيب هيدروكسيد الماغنسيوم $Mg(OH)_2$ عندما يتجاوز تركيز أيونات الهيدروكسيد $([OH^-])$ لقيمة × [mol/L]). إذا علمت أن حاصل إذابة $Mg(OH)_2$ يساوي 1.0×10^{-11} mol/L.

فأجب عن الأسئلة التالية.

(أ) اكتب المعادلة الأيونية التي تعبر عن الوصول إلى اتزان الذوبانية.

(ب) اكتب تعبير حاصل الإذابة لـ Ksp.

(جـ) حدد قيمة x لأقرب رقمين عشريين.

الإجابة: .....

فكّر بشكل نقدي:

يُطلق مصنع مياه صرف صناعي تحتوي على أيونات Pb^{2+}. في نظام معالجة اقترح عالم إضافة أيونات كبريتيد (S^{2-}) لإزالة أيونات الرصاص على شكل PbS الصلب.

قيّم الاقتراح:

١. لماذا قد يحدث ترسيب PbS؟ .....

٢. ما الدور الذي يلعبه Ksp في هذه العملية؟ .....

٣. كيف يمكن للترسيب أن يقلل من التلوث البيئي؟ .....

٤. ما الدليل الذي يؤكد أن أيونات Pb^{2+} قد ترسبت؟ .....

تدرب:

أجب عن الأسئلة التالية لأقرب رقمين عشريين :

$(Na = 23، Cl = 35.5، Ag = 108)$

إذا كانت ذوبانية كلوريد الفضة عند 25 °C هي 1.9 mg/L.

(أ) ما التركيز المولاري لأيونات Ag^+ في محلول مشبع من كلوريد الفضة عند $25°C°$ [بوحدة mol/L]؟

(ب) حدد حاصل إذابة كلوريد الفضة عند 25°C.

(جـ) عند إضافة كلوريد الصوديوم تدريجيًّا إلى 100 mL من محلول نترات فضة مائي بتركيز 1.0×10^{-3} mol\L ما أقل كتلة من كلوريد الصوديوم التي يجب إضافتها لبدء ترسيب كلوريد الفضة؟

الإجابة: .....

سؤال الوحدة

أنظمة الطاقة المستدامة: اختيار أفضل تقنية لمدينة خضراء.

تخطط مدينة لتقليل انبعاثاتها الكربونية من خلال استبدال أنظمة الطاقة التقليدية بتقنيات أنظف يقوم المهندسون بتقييم ثلاث تقنيات:

١. **خلايا** وقود الهيدروجين

٢. بطاريات الرصاص الحمضية

٣. إنتاج الهيدروجين بالتحليل الكهربي

تم جمع البيانات التالية.

مجموعة البيانات 1: معلومات الطاقة والبيئة

التقنية	العملية الكيميائية الرئيسية	ΔH (كيلوجول/مول)	الناتج الرئيسي
خلية وقود الهيدروجين	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	−572	ماء
بطارية الرصاص الحمضية (التفريغ)	$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$	تطلق طاقة	ماء وكبريتات الرصاص $PbSO_4$
التحليل الكهربائي للماء	$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$	+572	هيدروجين وأكسجين

مجموعة البيانات 2: إنتاج الشحنة الكهربية

النظام	عدد مولات الإلكترونات المنقولة
النظام A	1.0 mole
النظام B	2.0 mole
النظام C	5.0 mole

.....

.....

القسم أ: سؤال الاختيار من متعدد

أي من العبارات التالية تدعمها البيانات بشكل أفضل؟

(أ) التحليل الكهربائي للماء عملية طاردة للحرارة لأنه ينتج الهيدروجين.

(ب) خلايا الوقود والتحليل الكهربائي لهما نفس التغيّر في الطاقة لأنهما نفس العملية.

(جـ) يتطلّب التحليل الكهربي للماء امتصاص طاقة، بينما تُطلق خلايا الوقود الطاقة.

(د) تستهلك بطاريات الرصاص الحمضية وخلايا الوقود كلتاهما الماء كأحد المتفاعلات.

الإجابة: .....

الأدلة: .....

القسم ب: إجابة قصيرة

عرّف التغيّر في المحتوى الحراري (ΔH) واشرح الفرق بين العملية الطاردة للحرارة والعملية الماصة للحرارة باستخدام البيانات المقدمة.

.....

.....

القسم ج: مسألة منظمة

احسب واشرح باستخدام مجموعة البيانات 2:

(أ) احسب الشحنة الكهربائية الناتجة عن كل نظام.

(ب) حدّد أي الأنظمة يمكنه إحداث أكبر قدر من التغير الكيميائي.

(جـ) اشرح استدلالك باستخدام قانون فاراداي.

.....

القسم د: تحليل الاستجابة للبيانات

يدّعي أحد الطلاب ما يلى:

«يجب أن تحلّ خلايا وقود الهيدروجين محل بطاريات الرصاص الحمضية بشكل كامل لأنها تنتج الماء فقط.»

قيّم هذا الادّعاء.

فى إجابتك:

- ناقش المزايا العلمية،
- ناقش القيود،
- ضع في الاعتبار إنتاج الطاقة وتخزينها واستدامتها،
- استخدم أدلة من دراسة الحالة.

.....

القسم هـ: مقال موسّع

إلى أي مدى يمكن أن تُسهم التقنيات الكهروكيميائية في مستقبل طاقة مستدام؟

فى إجابتك:

- اشرح دور تفاعلات الأكسدة والاختزال في الخلايا الكهروكيميائية.

.....

- قارن بين خلايا الوقود وبطاريات الرصاص الحمضية والتحليل الكهربائي.

.....

- حلّل العلاقة بين التغيّرات في الطاقة (ΔH) وإنتاج الطاقة الكهربائية.

.....

- ناقش الآثار البيئية والاقتصادية لكل تقنية.

.....

- استخدم الأدلة العلمية لدعم استنتاجاتك.

.....

المؤلفون

Maki Komizo

Takayuki Kobayashi

Asato Tanaka

Koto Yasuda

المراجعون

أ.د. بشرى مسعد عوض

أ.د. محمد أبو ريه

أ.م.د. سالي كمال إبراهيم

د. محمد عارف

د. عزيزة رجب خليفة

د. حنان أبو العباس محمد

أ. سامح منصور

أ. جمال اليمني السيد

الإشراف العام

د. جبريل أنور حميدة

رئيس الادارة المركزية لتطوير المناهج